
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

2023 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

エージェンシーを発揮し、これからの社会を担う人材育成ープロジェクト学習「ヒト型ロボットの可能性を探る」の実践を通してー ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	真木大輔・白石匠・向平和・日野克博・大西義浩・玉井輝之	1
愛媛大学ジュニアドクター育成塾の選抜試験の開発 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	向平和・中本剛・大西義浩・岡本威明・加納正道・立川久美子	9
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～ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	宮崎智也・吉岡倬佑・原本博史・安部利之	17
愛媛大学ジュニアドクター育成塾の教育効果に関する研究ー修了生への追跡調査の結果を中心にー ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	殷爽・向平和・中本剛・加納正道・立川久美子	23
概念型探求の転移段階でエージェンシーを育む STEAM としてのキャリア教育 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	富田英司	31
国立青少年教育施設を活用した小学生を対象とした自然体験活動プログラムの開発と実践 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	糸野紗依・向平和	41
The Perceptions of Prospective Japanese Science Teachers on Female Students' Participation in STEM Subjects ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	Marvin ASIEDU・Manabu SUMIDA	50
準正課活動に学生を招き入れる方略 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	富田英司・野中陽一朗・三和秀平・坪田康	59
中学校理科「音」の単元構成の工夫ー振動数と和音の関係を探究する活動を通してー ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	沖野俊也・向平和	69
Nature of Students' Research Projects at a Japanese National High School ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	Vincent Sabong and Manabu Sumida	74
ものづくりを中心とした学習の成果と課題ー小学校理科第5学年「リニア新幹線」の開通を目指して ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	水口達也	84
高校地学「海洋の鉛直構造と熱塩循環」の実感を伴った理解のために ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	佐藤栄治・中井芳恵	88

エージェンシーを発揮し、これからの社会を担う人材育成 —プロジェクト学習「ヒト型ロボットの可能性を探る」の実践を通して—

Developing individuals who will demonstrate their agency and lead society in the future
-Through the learning of Project Learning "Exploring the Potential of Humanoid Robots"-

○真木大輔^{*1}, 白石匠^{*1}, 向平和^{*2}, 日野克博^{*2}, 大西義浩^{*2}, 玉井輝之^{*2}

MAKI Daisuke^{*1}, SHIRAISHI Takumi^{*1}, MUKO Heiwa^{*2}, HINO Katsuhiko^{*2}, ONISHI Yoshihiro^{*2}, TAMAI Teruyuki^{*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】VUCA (Volatility 〈変動性〉・Uncertainty 〈不確実性〉・Complexity 〈複雑性〉, Ambiguity 〈曖昧性〉の頭文字をとった造語) な世界で満足のいく人生を過ごしていくためには, 生徒が自分自身と他者そして地球全体を考えたウェルビーイングの実現に向けて, 行動を意思決定する学びが必要である. このような学習者を育成するには, 各教科での学習を実社会での問題発見・解決に生かしていくための探究的・教科横断的な学習が必要であると考え, 本研究では「ヒト型ロボットの可能性を探る」をテーマに実践を行った.この実践を通してエージェンシーを発揮して, 変革を起こす力を持った生徒の育成のために, 探究の型を用いた授業設計と, 日常生活・社会との関連を重視した探究的な学習に取り組むことの有用性について, 成果と課題を検討した.

【キーワード】エージェンシー, ウェルビーイング, 教科横断的な学習, STEAM 教育, PBL, 探究学習

I. はじめに

白井(2020)は, VUCA な世界でよりよい未来を創造できるようにするには, 生徒が自分自身と他者そして地球全体を考えたウェルビーイングの実現に向けて, 行動を意思決定する学び (エージェンシーを育むこと) が必要であると主張している. エージェンシーとは, 変革を起こすために, 自分で目標を設定し, 振り返り, 責任をもって行動する能力である.

理科は, 自然の事物・現象を学習の対象とする教科である. 学習指導要領の理科の目標には, 「自然の事物・現象に進んでかわり, 目的意識をもって観察, 実験などを行い, 科学的に探究する能力の基礎と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め, 科学的な見方や考え方を養う」とある. 学習指導要領の改定の趣旨にも, 「生徒が目的意識をもって学習を進め, 学習の結果, 何が獲得され, 何に分かるようになったかをはっきりさせ, 一連の学習を自分のものとして行うことができるようにすることが重要である」とあるように, 理科学習においては「目的意識をもって」ということが重要視されている.

これらのことから, 「探究する能力や態度を身に付けること」「生徒の当事者意識の醸成 (自分の学びを, 自分ごと, 自分たちごととして考えること)」は, 研究主題を達成するために必要不可欠であると考え, 探究

の型を用いた授業設計と, 日常生活・社会との関連を重視した探究的な学習に取り組むことの有用性について, 成果と課題を検討した.

II. 研究の方法

1. 対象と期間

中学3年生 (男子 63 名, 女子 61 名) を対象に 2022 年 7 月 7 日～2023 年 2 月 17 日に計 7 回の授業実践を行い, 後日, Google フォームでアンケートを行った.

2. 研究方法

2. 1. 日常生活や社会とのつながりが実感できるプロジェクト学習

教科の枠を越えて, 学ぶことと自分の人生や日常・社会とのつながりを実感できる単元をデザインした. 昨年度, 実施したプロジェクト学習 (テクノロジー×防災プロジェクト) では, 教師主導の学習内容であり, 生徒の当事者意識の醸成にまでは至っていないことが課題であった. そこで, 本研究では, お互いに教えたり学んだりするプロセスを教師と生徒と一緒に作っていくことを重要視した.

2. 2. 探究の型を用いた授業設計

探究の型をフレームワークとして用いた協働プレゼンシート, 個人実験レポートを作成させることで, AAR サイクル(見通し・行動・振り返り)を生かした授

業を設計した。図1は、使用した探究の型（フレーム）である。

【探究の型（フレーム）】	
①課題：この時間に生徒が解決したい問い。 （例 ○○○○は△△△△だろうか？）	
②仮説：課題の答えの予想とその理由 （日常生活やこれまでの学習から予想する。）	
③事物・現象：実験から導き出された結果 （箇条書きで書く。図や表を用いると Good）	
④分析・解釈：結果から課題を解決するために考察・推論されたもの（事物・現象と相対して書く。）	
⑤結論：実験・観察を通して導き出された答え （課題に対する答えが入る。）	
⑥振り返り・次時への見通し （次への見通し、反省、課題、改善点などを書く。）	

図1 探究の型（フレーム）

2. 3. 一人一台端末を活用した評価とフィードバックの工夫

昨年度実施したロイロノート・スクール（以下、ロイロノート）を活用したデジタル OPP（One Page Portfolio）シート（図2）を用いた評価方法では、生徒が自己評価を記入したり、教師が評価を集めたりすることに多大な時間と労力が掛かることが課題であった。そこで、本研究では、取り組みの方向性は継続し、「学習のための評価」（形成的評価）「学習としての評価」をより、効果的かつ効率よく行えるか、どうすれば信頼性・妥当性のある評価になるか、一人一台端末

での評価とフィードバックの工夫について改善を行った。図3が本年度実施した Google スプレッドシートを用いたデジタルポートフォリオである。



図2 昨年度まで使用していたデジタルポートフォリオ

Ⅲ. 結果

1. プロジェクト計画（全7時間）

ヒト型ロボットの可能性を探る（第3学年）

時間	教科	学習活動
1	理科	第1回「ヒト型の機能性を考える」 （理科:生物領域）
2～3	理科・技術 保健体育	第2回「ヒトの動きを科学する」 （理科:物理領域）
4	理科 技術	第3回「宇宙でのロボット活用」 （理科:地学領域）
5～7	理科 総合	第4回「よりよい未来を創造する ロボット活用」

Googleスプレッドシートを用いたデジタルポートフォリオ									
No 5	主体的な視点	○	批判的な視点	○	他者との協働能力	4	No 6	主体的な視点	○
	客観的な視点	○	比較	○	課題発見力	4		客観的な視点	○
	多面的な視点	○	関係づけ	○	思考力	4		多面的な視点	○
	共通性な視点	○	条件整理	○	知識	4		共通性な視点	○
	多様性な視点	○	多面的考察	○	技能	4		多様性な視点	○
No 6	主体的な視点	○	批判的な視点	○	自己調整能力	3	No 7	主体的な視点	○
	客観的な視点	○	比較	○	他者との協働能力	4		客観的な視点	○
	多面的な視点	○	関係づけ	○	課題発見力	4		多面的な視点	○
	共通性な視点	○	条件整理	○	知識	3		共通性な視点	○
	多様性な視点	○	多面的考察	○	技能	3		多様性な視点	○

図3 本年度使用したデジタルポートフォリオ

2. 授業の実際

2. 1. 第1回「ヒト型の機能性を考える」

ア パフォーマンス課題

ヒトは、なぜこのような機能・形状に進化してきたのだろうか？他の生物との比較や、ダーウィンの自然選択説を参考に、どのような環境に適応したのか、科学的根拠を基に説明してください。

イ 展開（1時間構成）

①情報収集（グループで視点を変えて収集）

（視点）頭の機能と形状・手の機能と形状・脚の機能と形状・ヒトとサルの違い

②報告

③ヒトの進化の未来を考える。

④個人レポート作成

ウ 生徒成果物

視点1 ヒトの頭の形状・機能について 担当（ ）	
事物・現象（調べた事実） ヒトの頭の形状・機能の特徴	分析・解釈（自分の考え） どのような環境に適応したのか
ヒトの頭は他の生物と比べてはるかに大きい。（他の生物と比べて約3倍と言われているほど）→脳は3〜4万年前から大きくなり始めた。 また、チンパンジーと遺伝子の情報は1.2%しか変わらないが、脳のつくりは全く別の進化をしている。	ヒトはサル、ゴリラと住む場所が違っていったから頭の形が変わっていったのだと考えた。 ヒトはヒト同士で協力し合い、共に生きていく上で、住居を作ったり、共に食料を分け合ったりしていたと思う。だから、手足が発達する。→そのため、口だけで食べる必要がなくなり手を使って食べるようになった。 →サルのように鼻や口が前に出ている。
ヒトとサル、ゴリラは似ているが、大人になった時の頭の形が大きく違っていき、ヒトは子供の時の形に同じ形をしているが、サルとゴリラは鼻や口が前に出るような形をしている。	また、眼（目）をサルやゴリラより変えなければならなかったから、眼（目）が大きくなっていったのだと思う。上で述べたようにヒトはヒト同士で共存して、作った住みに一緒に住んだり、食料を分け合ったりしていた。そのため、両きょうのみでは伝えたいことが伝わらず、ジェスチャーや言葉が必要となった。だから、頭（脳）を発達させる必要があったのだと考えた。

図4 頭の機能と形状について情報収集（生徒作品）



図5 ヒトの進化の未来を考える（生徒作品）

2. 2. 第3回「ヒトの動きを科学する」

ア パフォーマンス課題

前回のプロジェクト学習で生物領域パフォーマンス課題「ヒト型の機能性を考える」として、進化の過程から機能性について学習しました。今回は第2回「ヒ

トの動きを科学する」です。ヒトの動きの巧み性について、科学的に考えていきましょう。

ヒトの動き（走る・投げる・跳ぶ）を科学的根拠に基づいて説明してください。

イ 展開（2時間構成）

①問題解決の見通しを立て、生徒主体による探究活動を行う。



図6 問題解決の見通しの視点

②体育・理科・ロボット工学のゲストティーチャーのアドバイスを受け、よりよい問題解決になるよう修正する。

③探究結果の全体報告を行い、ゲストティーチャーから講評を受ける。

ウ 生徒成果物



図7 ヒトの動きを科学する（生徒作品）

2. 3. 第3回「宇宙でのロボット活用」

ア パフォーマンス課題

あなたは、ロボット開発エンジニアチームの一員です。今回は、JAXOからの依頼で、宇宙で活躍できるヒト型ロボットのプロトタイプを設計することになりました。JAXOは、人類宇宙進出プロジェクトの一環で、太陽系の天体でのヒト型ロボットの宇宙実験を計画しています。下記の太陽系天体をチームで分担して、それぞれの天体に応じたロボットを設計してください。

木星 土星 天王星 海王星 金星 火星 水星
ガニメデ タイタン カリスト イオ 月
冥王星 エウロパ トリトン ハレー彗星

イ 展開 (1 時間構成)

- ①情報収集として、仕様書 1 (図 8) を作成する。
- ②ロボット設計として、ゲストティーチャーのアドバイスを受け仕様書 2 (図 9) を完成させる。

ウ 生徒成果物

環境	課題	ロボットの解決イメージ
1. 直径 (地球 = 1) 0.403... 2. 質量 (地球 = 1) 0.022... 3. 密度 (g/cm³) 1.87998 4. 赤道からの距離 (太陽地球間 = 1) 9.5 5. 公転の周期 (年) 15.945421 6. 大気成分 窒素、メタン、水素 7. 表面の平均温度 (°C) -179.5 8. その他の主な特徴 ・土星の衛星 ・地球以外で唯一液体がある	上記の環境でヒト型ロボットが活躍するには、どのような課題があるだろうか。数分間で整理してこよう。 ・気温が低い ・エネルギー源の確保 ・重力が地球の約0.1倍 ・気圧が地球の1.5倍 ・強い風 ・放射線	どんな形のどんな機能的ロボットなら解決するだろうか？イメージを描いてみよう。 寒さに耐える (-182℃)

図 8 仕様書 1 (タイタン担当 生徒作品)

解決したい課題	使えそうな知恵
地球のエネルギー問題 使用シーン ・液体メタンを持って帰る →液体メタンから水素とアセチレンを取り出せば火力発電ができる。地球の化石燃料に変わる新たなエネルギー源へ！ ・強い風を利用して風力発電をする	風力発電、掃除機 イメージ図 (イラスト・絵画説明)
掃除機や住込み - 掃除機のようなもので液体を吸って持って帰る - 強い風によってプロペラが回ることによって発電し電気をためて使う	

図 9 仕様書 2 (タイタン担当 生徒作品)

2. 4. 第4回「よりよい未来を創造するロボット活用」

ア パフォーマンス課題

これまでヒト型ロボットの可能性について様々な場面で考えてきましたが、いよいよ最終回です。今回の課題は「よりよい未来を創造するロボット活用」で

す。よりよい未来とは、どのようなものか。そこにロボットがどう関わるのか。自分たちの手で素敵な未来を創造してください。

イ 展開 (3 時間構成)

- ①情報収集として、企画書を作成する。
- ②企画書を基にプレゼン資料を作成する。
- ③コンペ方式でオンライン発表会を行う。

ウ 生徒成果物



図 10 発表の様子



図 11 オンライン発表会資料

IV. アンケート結果及び考察

1. 日常生活や社会とのつながりが実感できるプロジェクト学習について

今回のプロジェクト学習について、「エージェンシーを発揮する力の育成において、有効的な学習活動について、5段階評価(1.「有効でなかった、2.「あまり有効でなかった」、3.「どちらともいえない」、4.「まあまあ有効であった」、5.「とても有効であった」)で尋ねた(表1)。

回答結果(図12)より、「まあまあ有効だった」を含めた肯定的な回答の割合が高かったものは、上位か

表1 質問項目

・氏名を記入してください。
研究主題「エージェンシーを発揮して、変革を起こす生徒の育成」に関するアンケート
本校では、エージェンシーを「自分たちが実現したい未来（ウェルビーイング）の実現に向けて現状をよりよくする力」と捉えています。ヒト型ロボットプロジェクトを通して、「エージェンシーを発揮する力」が育成されたかどうかについて、あなたの考えに最も近いものを選択してください。
1. エージェンシーを発揮する力の育成において「教員による講義型学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
1) 有効でなかった
2) あまり有効でなかった
3) どちらとも言えない
4) まあまあ有効だった
5) とても有効だった
質問 12 までの選択肢は質問 1 . 1) ～5) と同じものである。
2. エージェンシーを発揮する力の育成において「学び合いによる学習者中心の学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
3. エージェンシーを発揮する力の育成において「映像教材（動画）を中心とした学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
4. エージェンシーを発揮する力の育成において「実験・観察を中心とした学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
5. エージェンシーを発揮する力の育成において「インターネットで調べる学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
6. エージェンシーを発揮する力の育成において「専門家とつながる学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
7. エージェンシーを発揮する力の育成において探究の型を用いた「レポート、プレゼンシートを作成する学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
8. エージェンシーを発揮する力の育成において「他者との交流で自分の考えを表現する学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
9. エージェンシーを発揮する力の育成において「パフォーマンス課題やSDGs など社会や日常の問題に取り組む学習」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
10. エージェンシーを発揮する力の育成において「問題演習（練習問題などを解く）」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
11. エージェンシーを発揮する力の育成において「塾（家庭教師なども含む）での講義」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
12. エージェンシーを発揮する力の育成において「デジタルポートフォリオでの学びの振り返り（学びログの作成）」は、あなたにとってどの程度有効でしたか
13. あなたのヒト型ロボットプロジェクトの活動の参画（参加）は、次の1～8のどれに当てはまりますか？
1) 操り参画
2) お飾り参画
3) 形式的参画
4) 与えられた役割の内容を認識した上での参画
5) 大人主導で子どもも意見提供ある参画
6) 大人主導で意思決定に子どもも参画
7) 子ども主導の活動
8) 子ども主導の活動に大人も巻き込む
14. 探究の型を用いた「レポート、プレゼンシートを作成する学習」で、どのような力が身につきましたか（自由記述）
15. 本年度使用した「デジタルポートフォリオでの学びの振り返り（学びログの作成）」について、昨年度と比べての感想を教えてください。（自由記述）

質問項目 1～12 エージェントを發揮する力の育成において「XXXXX」は、あなたにとってどの程度有効でしたか。N=99

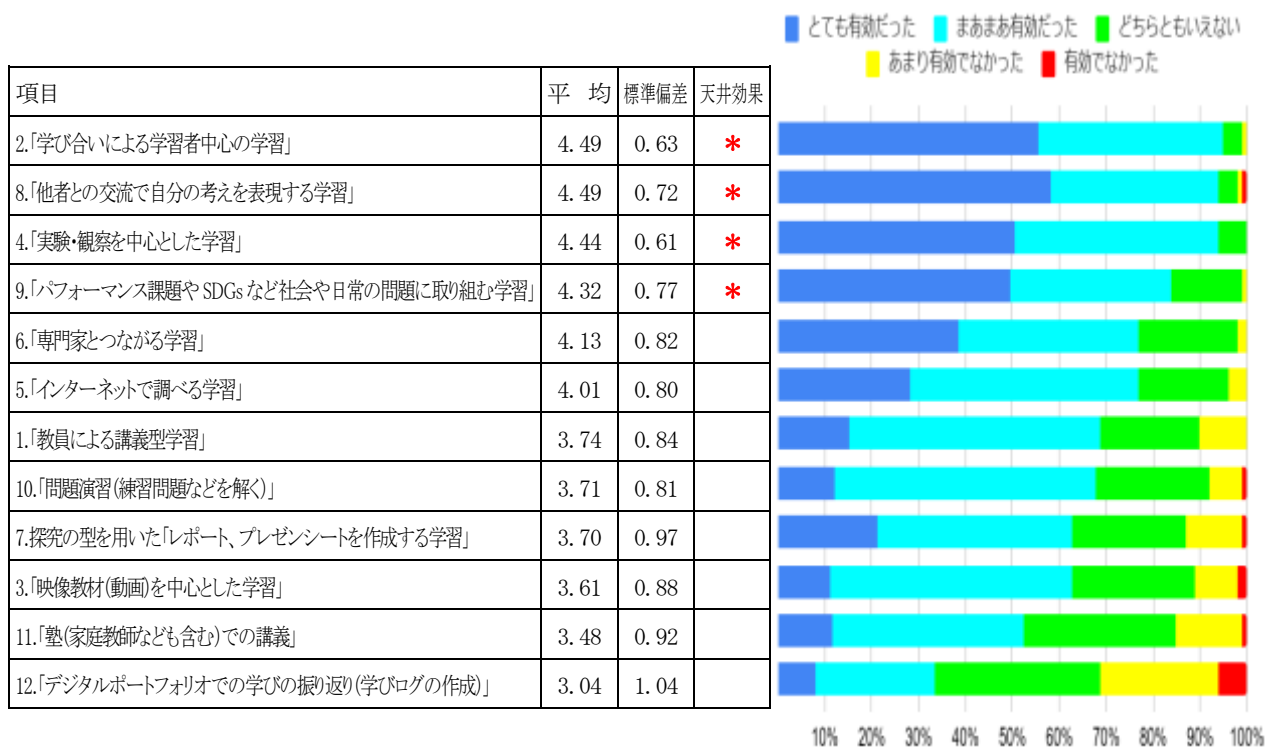


図 12 エージェントに関する Web 調査の回答結果

質問項目 13 あなたのヒト型ロボットプロジェクト学習の活動の参画(参加)は、次の1～8のどれに当てはまりますか。N=99

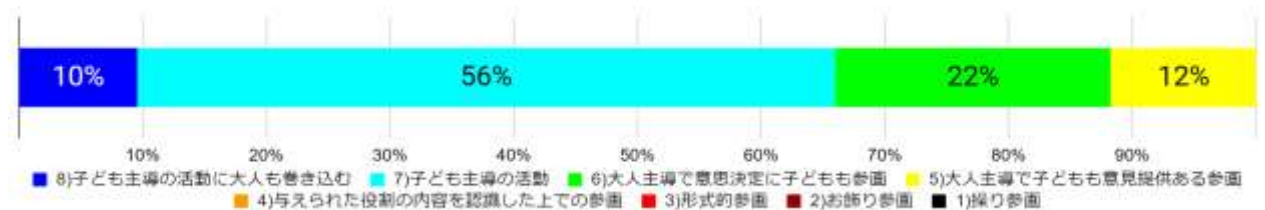


図 13 プロジェクト学習の活動参画に関する Web 調査の回答結果

質問項目 14. 探究の型を用いた「レポート、プレゼンシートを作成する学習」で、どのような力が身につきましたか。(自由記述) N=85

- ・図を用いたりわかりやすくしたりなど工夫する力
- ・根拠があり説得力があるような説明ができるようになった。
- ・また、問題発見、自分の予想、結果、分析…という流れを通したレポート作成によってその流れがごく普通になり、どの教科でも似たような感じで考えられるようになった。
- ・また、どうすれば相手に納得してもらえるか考えたり説得力のあるプレゼンをつくることができました。
- ・レポートなどを作ることによって自分が考えていたことを端的にまとめることができた。
- ・クラスの人が理解しやすいように、画像を取り入れるなど、工夫しました。
- ・分析解釈する力、まとめる力
- ・時間配分など時間の使い方が上手くなりました。
- ・実験結果の信憑性を考える力、実際の事象から考察を行う力
- ・レポートでまとめることで頭に入りやすくなりました。

(生徒記述を原文のまま記載)

図 14 質問項目 14 回答抜粋：テキストマイニング(ユーザーローカル)を用いた 10 行ダイジェスト要約

質問項目 15. 本年度使用した「デジタルポートフォリオでの学びの振り返り(学びログの作成)」について、昨年度と比べての感想を教えてください。(自由記述) N=75

- ・ スプレッドシートを使えるようになって時間短縮になったので良かったです。
- ・ まとめやすくなった。、過去の振り返りがしやすくなった。
- ・ ロイロノートよりも重くないので、やりやすかった。
- ・ デジタルポートフォリオが振り返りやすくなっていたと思う。
- ・ データが軽くなったのでスピーディーになり、やりやすくなった。
- ・ 自分がどんな状況なのかが分かりやすくなっていたと思います。
- ・ でもデジタルポートフォリオだと、まとめやすく、提出しやすかった。
- ・ 一目で分かりやすくまとめられているから見返しやすかった。
- ・ iPad で打ち込むのも良いですがやはりアナログが良いです。
- ・ ロイロノートで重すぎて動かなくなる問題などは解消され行いやすくなった。

(生徒記述を原文のまま記載)

図 15 質問項目 15 回答抜粋：テキストマイニング（ユーザーローカル）を用いた 10 行ダイジェスト要約

らに「学び合いによる学習者中心の学習」「他者との交流で自分の考えを表現する学習」「実験・観察を中心とした学習」「パフォーマンス課題や SDGs など社会や日常の問題に取り組む学習」であった。これらの項目は天井効果が見られた項目である。このことから、エージェンシーを発揮する力の育成には、学習者自身が学びの自己選択・自己決定・自己調整する活動が有効であると考ええる。

また、質問項目 14 の結果（図 14）より、回答 8）、7）を合わせた子ども主導の活動が 66%であった。このことは、昨年度の課題であった教師主導の内容が改善され、生徒の当事者意識の醸成につながったものと考ええる。

2. 探究の型を用いた授業設計について

質問 7 の結果（図 12）より、「とても有効だった」「まあまあ有効だった」を含めた全体的に肯定的な回答の割合が 63%であることから、探究の型をフレームワークとして用いることはエージェンシーを発揮する力の育成にある程度の有効性があることがわかる。また、質問 14 の結果（図 14）より、「問題発見、自分の予想、結果、分析…という流れを通したレポート作成によってその流れがごく普通になり、どの教科でも似たような感じで考えられるようになった」「実験結果の信憑性を考える力、実際の事象から考察を行う力が身についた」などの記述にあるように、探究する能力や態度を身に付けることにつながったと考える。

3. 一人一台端末を活用した評価とフィードバックの工夫

質問 15 の結果（図 15）で「時間短縮になった」「回答がスムーズになった」「一目でわかるようになった」と記述にあるように、作業のストレス感の解消には一定の効果が見られたことがわかる。

しかし、課題として、質問 7 の結果（図 12）より、「とても有効だった」「まあまあ有効だった」を含めた全体的に肯定的な回答の割合が 33%であり、他の質問項目と比較して低くなっていることがあげられる。この理由として、生徒は、振り返りの活動が学習者自身のための活動ではなく、教師のための形成的評価（課題提出への義務感）と捉えているのではないだろうか。今後は、デジタルポートフォリオでの学びの振り返りが、学習者自身の学びの有用性として感じられる活動になるよう改善・検討する必要がある。

V. おわりに

これまでも真木ら（2021, 2022）や中村ら（2021）が報告しているように、他の教科・科目の内容や異校種間連携を促す実践を行ってきている。

本研究では、エージェンシーを発揮する力の育成において「学び合いによる学習者中心の学習」「他者との交流で自分の考えを表現する学習」「実験・観察を中心とした学習」「パフォーマンス課題や SDGs など社会や日常の問題に取り組む学習」などの学習者自身が学びの自己選択・自己決定・自己調整する活動が有効であることがわかった。

また、探究的・教科横断的な学習に取り組むことは、自分のこれまでの経験や他教科の技能など、自分や他

者の強みを生かして、問題追究の際の根拠として活用したり、考えを比較・関連させて新たなアイデアを創造したりすることするなど、「探究する能力や態度を身に付けること」「生徒の当事者意識の醸成（自分の学びを、自分ごと、自分たちごととして考えること）」に効果的であることがわかった。

本年度使用した Google スプレッドシートを用いた評価方法では、生徒の有用感が高まらなかった。今後は、「教師のための評価」から「生徒のための評価」になるよう、一人一台端末を活用した評価とフィードバックの工夫について更なる研究を進めていきたい。

謝辞

本研究の教材の準備等において、愛媛大学大学院教育学研究科院生の須田龍弥氏、愛媛大学教育学部学生の竹内昇輝氏にご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げます。

文献

- 白井俊（2020）『OECD Education2030 プロジェクトが描く教育の未来 エージェンシー、資質・能力とカリキュラム』ミネルヴァ書房、79-98.
- 中村依子・真木大輔・向平和（2021）：「異校種間連携を促す ICT を導入した探究活動の実践的研究-中学校第3学年理科「生物の成長と生殖」の授業において-」、『生物教育』、63、1、30-38.
- 真木大輔（2021）「1人1台の端末がある理科授業でできること-「鍛える授業」から「自ら学ぶ授業」へ-」、『理科の教育』、70、829、36-39.
- 真木大輔・薬師神吉啓・向平和・大西義浩・玉井輝之（2022）「科学的根拠に基づき探究する自律型学習者の育成-教科横断的な学習の実践を通して-」、『愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター紀要』、1、6-10.
- 文部科学省『中学校学習指導要領（平成29年度告示）解説理科編』、学校図書、2018.

愛媛大学ジュニアドクター育成塾の選抜試験の開発

Development of Selection Test of *Ehime University Junior Doctor Ikuseijuku*

○向平和^{*1}, 中本剛^{*1}, 大西義浩^{*1}, 岡本威明^{*1}, 加納正道^{*1}, 立川久美子^{*1}
MUKO Heiwa^{*1}, NAKAMOTO Go^{*1}, ONISHI Yoshihiro^{*1}, OKAMOTO Takeaki^{*1}, KANO Masamichi^{*1},
TATSUKAWA Kumiko^{*1}

^{*1}愛媛大学教育学部

^{*1}Faculty of Education, Ehime University

〔要約〕愛媛大学教育学部では平成 29 年度より国立研究開発法人科学技術振興機構ジュニアドクター育成塾事業を受託し実施している。本事業は、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、理数・情報分野の学習等を通じて、高い意欲や突出した能力を有す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・実施を行うことを目的とした 5 年間の支援事業である。令和 3 年度までの 5 年間の実施において、令和 2 年度より大きく募集方法や選抜方法、実施内容が変化した。本稿では、選抜試験の開発について報告する。令和 2 年度より、応募者が急増し、さらに新型コロナウイルス感染症の拡大によって、選抜試験の方法を変更せざる得なかった。選抜試験の開発および実施のために評価 WG を形成し、選抜試験を、思考力を主に問うものと発想力と提案力を問うものの 2 種類を作成した。さらに令和 4 年度の選抜試験からは活動実績評価を導入した。

〔キーワード〕ジュニアドクター育成塾、選抜試験、思考力、提案力、活動実績評価

I. はじめに

国立研究開発法人科学技術振興機構（以下、JST）は平成 29 年度よりジュニアドクター育成塾事業を典型している。令和 4 年度も 30 の機関で実施されている。実施機関は大学、高等専門学校、特定非営利活動法人（NPO 法人）、株式会社など多様である。本事業は、科学技術イノベーションを牽引する傑出した人材育成に向けて、高い意欲や突出した能力を有す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・実施を目的としている。これまでも体系的育成プランの実施内容や評価等については、本学の取り組み（大橋 2018；向ら 2021；向ら 2022）、鳴門教育大学の取り組み（早藤ら 2018, 2020；胸組ら 2018）、鳥取大学の取り組み（梶井 2020）、山形大学の取り組み（栗山 2021）、静岡大学の取り組み（山本 2021）、琉球大学の取り組み（福本ら 2021）など多くの報告が見られる。本稿では、選抜試験の実施方法について報告する。

II. 分析の対象

平成 29 年度～令和 4 年度までの選抜試験の方法について、これまでの業務報告書および実際に使用した選抜試験等から基礎データを収集した。

III. 分析の結果

平成 29 年～令和元年までは、以下の内容で実施した。

○思考力試験 60 分

本事業で独自に作成した、学力非依存型の思考能力を測定する試験によって思考能力を測定。

○実験工作力試験 80～90 分

H29：目的に合わせた傘袋ロケットの製作と試行試験を行う能力、および他の受験者との協働性を測定。

H30：ランダムチームでフィルムケースロケットをより遠くまで飛ばすための方法を検討。

R1：冷却材の製品開発をテーマとしてチームアクティビティを行った。

○情報整理能力試験 30～40 分

実験工作力試験で学んだことを文章でまとめる能力を測定。

○選抜基準

思考力試験は、設題の内容を読み取れているかを基準とした。独自性、合理性の高い推論をしていると認められた場合は高得点、無回答や内容を誤読している場合を低得点とした。

実験工作力試験は、設計、改良に対して意見を持つ

ているか、他の受験者とコミュニケーションが取れているかを基準として、各 4 段階で活性度を評価した。

情報整理能力試験は、実施した内容を具体的に記述できているかどうかを基準とした。具体的な記述、および新たなアイディアの提示を高得点、曖昧な記述を低得点とした。

実行委員およびメンターによる行動観察等を行いルーブリックで評価を行った。すでに報告しているように令和 2 年度からは応募者の急増、新型コロナウイルス感染症の拡大により実験工作力試験などのパフォーマンス試験の実施が困難となったため、課題解決型の筆記試験を実施した。

令和 2～4 年度以降は下記の内容で実施した。

○選抜体制

評価 WG が中心となり選抜問題を作成し、実行委員会においてその内容を審議・決定した。採点は、実行委員で行い、実行委員会において審議し、合格者を決定した。

○選抜方法

筆記試験内容として、発達段階を問わず、読解力や科学的な思考力などを測定する選抜試験の検討を行った。ただ、令和 2 年度は新規の試験問題の作成時間が確保できないため、今年度の選抜試験 1 は、OECD（Organisation for Economic Co-operation and Development：経済協力開発機構）PISA（Programme for International Student Assessment：生徒の学習到達度調査）2018 年の読解力問題と大学入試センターが実施した平成 29 年度試行問題の生物の問題を活用して作成した。令和 3 年度は評価 WG によって独自の試験問題を作成した。

選抜試験 2 は令和 2 年度は 2020 年 7 月 1 日より実施されているレジ袋有料化を取り上げながら、プラスチックと環境問題について基礎情報を提示し、その問題解決の方法を提案する問題を作成した。令和 3 年度は、生物模倣を取り上げ、企画書を作る内容とした。本事業が想定する科学者に必要な 4 つの能力、「なぜを問う力」「考える力」「表現する力」「協働する力」を観点として設定し、そのまま採点の観点とした。

○選抜基準

本事業が想定する科学者に必要な 4 つの能力、「なぜを問う力」「考える力」「表現する力」「協働する力」

を評価する選抜試験問題の評点で上位 40 名程度を選抜した。

令和 4 年度はさらに活動実績評価を取り入れた。表 1 に示す基準で加点した。なお、検定等は全国レベルを 1 級、県レベルを 2 級、市レベルを 3 級、学校・団体レベルを 4 級とし、他の分野の点数は同様の基準とした。理科系、数学系、文系、美術系、体育系でそれぞれ上限 15 点で、最大 50 点の加点とした。

表 1 加点の基準

	全国	県	市	学校・団体	その他
基準	科学の甲子園ジュニアなどの大会入賞もしくは全国での研究賞などの入賞	県で開催される自由研究賞などの入賞	市で開催される自由研究賞などの入賞	学校および同好団体における研究・発表における表彰	それ以外で研究に値する活動
配点	10 点	6 点	3 点	2 点	1 点

加点の最大は 47 点で、その受験者は様々な検定を受検し、美術、自由研究、陸上などで入賞していた。

令和 4 年の選抜試験については巻末資料として添付する。

IV. 考察

令和 2 年度より受験者の急増と新型コロナウイルス感染症の拡大によってペーパーテストのみの試験とした。選抜試験の作成は労力が必要であり、行動観察は受験者がある程度少人数で、評価者も見ることが必要である。応募者が多く、20%程度の合格者になることから本事業で作成したようなある意味尖った選抜試験による評価も可能である。令和 4 年度からは、思考力だけでなく、様々なことに取り組んでいる多様な人材確保という観点から活動実績評価を導入した。令和 4 年度の参加者の参加状況をみてみると導入意図と合致して多才でユニークな参加者も増えたように感じている。

V. おわりに

今回は選抜試験について報告を行った。これまで選抜試験の内容の公開は少ない。選抜試験の情報共有により効率化や真正な評価へとつながることが期待できると考えている。

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うけて実施した。愛媛県教育委員会および松山市教育委員会をはじめ各市町教育委員会、愛媛県総合科学博物館、愛媛県立とべ動物園、松山市考古館、松野町おさかな館、愛媛県立松山南高等学校の関係者に皆さんに協力いただいた。ここに記して感謝申し上げます。

文献

愛媛大学ジュニアドクター育成塾実行委員会 (2022) 最終業務報告書。

福本晃造・宮国泰史・杉尾幸司・古川雅英 (2018) : 小中学生を対象とした科学教育プログラム参加者の特徴とその類型化, 日本科学教育学会年会論文集, 42, 261-262.

早藤幸隆・胸組虎胤・金児正史・田村和之・曾根直人・米澤義彦 (2018) : 小中学生を対象とする次世代の科学技術者育成プログラムの開発と実践的評価, 日本科学教育学会年会論文集, 42, 555-558.

早藤幸隆・胸組虎胤・金児正史・田村和之・曾根直人・米澤義彦 (2020) : 小中学生を対象とする次世代の科学技術者育成プログラムの実践的評価, 日本科学教育学会年会論文集, 44, 367-370.

梶井直親 (2020) : 小中学生を対象としたグループディスカッションスキルの評価の検討—鳥取大学ジュニアドクター育成塾での取り組みに関する報告—, 日本心理学会大会発表論文集, 84, 76.

国立研究開発法人科学技術振興機構ジュニアドクター育成塾 web ページ, <https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/> (2022 年 3 月 18 日最終確認)

公益財団法人愛媛県教育会編 (2021) : 愛媛県教育関係職員録令和 3 年度。

栗山恭直 (2021) : ヤマガタ 夢☆未来 Girls プロジェクト—ネットワークの構築と継続, 学術の動向, 26, 7, 38-42.

向平和・中本剛・小助川元太・佐野栄・平野幹・阿野嘉孝・中原真也・山本智規・吉富博之・熊谷隆至・大西義浩・岡本威明・中村依子・加納正道・立川久美子・田鍋克仁 (2021) : 小中学生対象のノンフォーマル科学教育プログラムの開発と実践—愛媛大学ジュニアドクター育成塾の令和 2 年度実施内容を中心に—, 日本科学教育学会研究会研究報告, 36, 6, 31-34.

向平和・中本剛・佐野栄・加納正道・立川久美子 (2022) :

愛媛大学ジュニアドクター育成塾の応募状況の分析, 愛媛大学教育学部附属科学教育研究センター紀要, 1, 2-5.

胸組虎胤・金児正史・早藤幸隆 (2018) : ジュニアドクター発掘・養成講座における教科複合的授業: 生命科学, 日本科学教育学会年会論文集, 42, 563-564.
大橋淳史 (2018) : 小中学生を対象とした理系人材育成プログラムの開発と評価, 日本科学教育学会研究会研究報告, 32.8.59-62.

山本高広 (2021) : 静岡 STEM アカデミーの取り組みからみるこれからの STEM 人材育成—タイ国への調査を見据えて, 日本科学教育学会年会論文集, 45, 273-276.

2022 年度
愛媛大学ジュニアドクター育成塾
選抜試験 1
問題および解答用紙

受験番号記入欄

○注意事項

- 試験開始の合図があるまで、この問題および解答用紙の中を見えてはいけません。
- この冊子は表紙を含んで 14 ページです。問題と解答用紙が一緒になっているのでホッチキスははずさないようにしてください。
- 試験中に本冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁、試験解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手をあげて監督者に知らせてください。
- 問題は 4 問です。記号を○で選ぶとき、記述は読みやすい字で、丁寧に書いてください。
- 配点は 100 点です。
- 試験終了後、この冊子は回収されます。
- 選抜試験の解説は愛媛大学ジュニアドクター育成塾の Web ページで公開します。

1

1 各問いに答えよ。

問 1 図 1 のように、自動車の後輪に印（白丸）をつけた。

- (a) この自動車が矢印の方向に走るとき、この印は、どのような軌跡を描きますか。下のア、イ、ウの中から選んで記号で答えよ。

解答

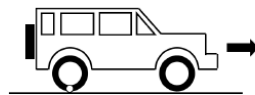
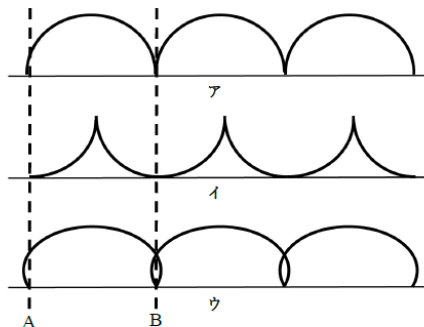


図 1



2

- (b) AB 間の長さが 240 cm でした。このとき、タイヤの直径はいくらですか。

半径 r の円の円周の長さは、 $2 \times \pi \times r$ で与えられます。 $\pi=3$ として計算せよ。

計算

解答

cm

- (c) この車で 10 km の距離を 15 分で走った時、速さはいくらですか。時速で答えよ。

計算

解答

Km/時

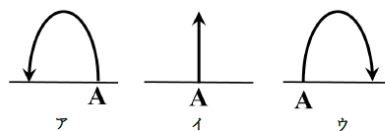
- 問 2 図 2 のように、ボールを矢印の方向に回転させながら、床の A の場所に落下させました。床で跳ね返った後、ボールはどのように動きますか。下のア、イ、ウの中から選んで記号で答えよ。



図 2

解答

3



- (5) 図 3 は、2 種類のゴム A と B の、ゴムを引っ張る力とゴムの伸びとの関係を表しています。

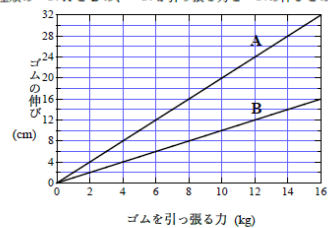


図 3

- (a) A と B のゴムの伸びを 12 cm にするためには、引っ張る力はそれぞれいくらですか。

A

B

- (b) A と B のゴムを比べたとき、どちらのゴムが硬いですか。

解答

4

2 以下の文章を読み、以下の問いに答えよ。

ジャガイモの断面にヨウ素溶液をかけると青紫色を呈し、デンプンの存在が確認できる。そこで、デンプンに対する消化酵素の働きを調べるために、だ液を用いて次のような実験を行った。これについて、あとの問いに答えなさい。ただし、各実験で準備したデンプン溶液の量と、加えただ液または水の量はそれぞれ同じである。

【実験1】

温度を5℃にしたデンプン溶液とうすめたヒトの唾液を試験管に入れて混ぜ合わせ、その温度で5分間放置したあと、少量のヨウ素溶液を加え、試験管内の色が青紫色になるかどうかを確認した。同様の実験を20℃、30℃、40℃、60℃のデンプン溶液でも行い、表1にその結果をまとめた。

表1						
温度 (℃)	5	20	30	40	60	+
色	+	-	-	-	+	-

【実験2】

実験1で用いたうすめたヒトのだ液のかわりに水を用いて同様の実験を行った。表2にその結果をまとめた。

表2						
温度 (℃)	5	20	30	40	60	+
色	+	+	+	+	+	-

＜問1＞ 実験1に加えて、実験2を行うことでわかることとして適切なものを、次の①～④から選びなさい。

- ① デンプンは水によって麦芽糖に変わる。
- ② デンプンが麦芽糖に変わったこと。
- ③ デンプンがなくなるのは温度の影響だということ。
- ④ デンプンがなくなったのはだ液があるためということ。

解答

5

＜問2＞ 実験1について、温度を30℃にしたときの試験管内の物質についてどのようなことがいえるか。最も適切なものを次の①～④から選べ。

- ① デンプンが含まれている。
- ② 麦芽糖が含まれている。
- ③ デンプンは含まれていない。
- ④ デンプンも麦芽糖も含まれていない。

解答

＜問3＞ 実験1で、はたらく消化酵素として最も適切なものを、次の①～④から選べ。

- ① トリプシン
- ② ペプシン
- ③ アミラーゼ
- ④ リパーゼ

解答

＜問4＞ 実験1について、温度を60℃にしたとき溶液の色は青紫色になっている。これはなぜか。記述しなさい。

＜問5＞ 500mLのコップと300mLのコップを用いて400mLの水を計りとりたい。どのように調製したらよいかを記述しなさい。
(水は最大2000mL使用可能で、不要な水は廃棄してください)

6

3 下の図を見て、以下の問いに答えよ。

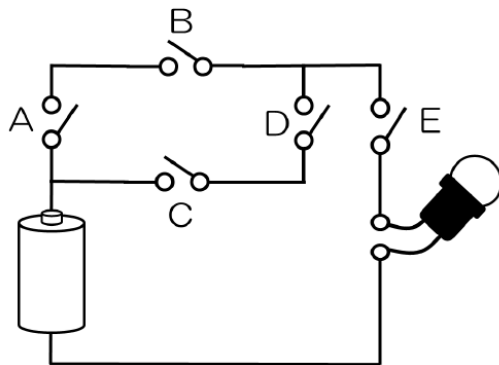


図 豆電球の回路

問1

豆電球を点灯させるにはどのスイッチを入れればよいでしょうか？豆電球を点灯させるスイッチの組み合わせをすべて選び、記号を○で囲みなさい。

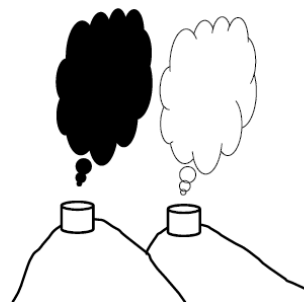
1. AとBのスイッチを入れる。(C、D、Eは切る)
2. AとBとEのスイッチを入れる。(C、Dは切る)
3. AとBとCのスイッチを入れる。(AとDは切る)
4. BとDとEのスイッチを入れる。(AとCは切る)

7

5. CとDとEのスイッチを入れる。(AとBは切る)
6. A～Eすべてのスイッチを入れる。
7. BとCとDとEのスイッチを入れる。(Aは切る)
8. A～Dのスイッチを入れる。(Eは切る)

問2

狼煙（のろし）は、昔使われていた、煙や火を使って情報を伝達する手段です。狼煙台と呼ばれる煙を出す場所を高台の上など見晴らしのよい場所に設置し、遠くに情報を伝えていました。たとえば、白、黄、赤、黒の4色の煙を出すことができると4種類の情報を伝えることができます。



8

1) 4種類の煙を出すことのできる狼煙台が2つ設置されていると全部で何種類の情報を伝えることができるでしょうか？色の組み合わせも考えてみてください。

計算

解答

2) 1)の狼煙台で、もし赤の煙を出すことができなければ、何種類の情報を伝えることができますか？

計算

解答

4) 以下の文章を読み、問いに答えよ。

愛媛県にある血^①峠^②（標高1,271m）は石^③鎚^④峰^⑤の西に位置し、周辺は血^⑥ヶ^⑦嶺^⑧県立自然^⑨公園^⑩に指定されている。松山平野からの登り口の生^⑪林^⑫森^⑬林^⑭公園^⑮には風^⑯穴^⑰があり、年中一定温度の冷気が放出されている。標高1,145mには竜^⑱沖^⑲平^⑳という湿^㉑原^㉒があるが、乾燥^㉓化^㉔が進みクマザサなどが侵^㉕食^㉖している。春にはヤマブキソウ、コミヤマカタバミ、イチリンソウ、ヤマリソウ、ミツバテンナンショウ、ツクバネソウ、シコクカッソソウ、ギンリョウソウ、ウバユリ、フタリシズカ、クマガイソウ、イワカガミ、フタバアオイ、ハナイカダなどがきれいな花を咲かせ、秋にはヤマホトトギス、ヤマラッキョウ、フリガネニンジン、イナカギク、フジグロセンノウ、ハガクレツリフネ、レイジンソウ、オタカラコウ、オオバショウマ、モミジガサ、イワタバコなどが見ることができる。

問1

春に開花が観察される植物を以下の中からすべて、○で囲み、選びなさい。

サザンカ、カラスノエンドウ、コオニユリ、アキノキリンソウ

ヒヨウタン、ヘチマ、ニワゼキショウ、ツバキ

問2

春に花を咲かせる植物が多い理由について考えました。下記の空欄に当てはまる語句を選択して、解答欄に答えなさい。

温暖な気候である愛媛県において平地では常緑広葉樹が多いが、愛媛県の木である（①）は（②）である。皿が峰に登るとブナなどの（③）が多くあり、（④）から（⑤）までの間は林床に日が当たることがわかります。春に花を咲かせる植物は冬場の寒い時期を乗り越えて日の当たる短い期間に合わせて花を咲かせているようである。

選択語句

マツ、ミカン、クリ、スギ、ヒルギ、ヤシ、常緑針葉樹、常緑広葉樹、落葉針葉樹、落葉広葉樹、春、夏、秋、冬

用語説明：常緑…秋になっても紅葉せず、緑の葉をつけ続ける（ただし、葉の生え替わりをしないわけではない）

落葉…秋になると紅葉して葉を落とす樹木

針葉樹…針のようにとがった葉をつける樹木

広葉樹…サクラの葉のように大きな葉をつける樹木

①	②	③
④	⑤	

問3

以下の文章を読み、解答欄に記入せよ。

植生を調査する方法に方形区法がある。1m四方の方形区で調査し、その方形区ごとに生えている植物の種類を調べ、種ごとに被度と頻度を求める。被度は覆っている面積の割合をもとに次のような被度記号を使って表す。

被度記号（数字）＝方形区で覆われている植物の面積

$4 = \frac{3}{4}$ 以上覆っている、 $3 = \frac{2}{2} \sim \frac{3}{4}$ 覆っている、 $2 = \frac{1}{4} \sim \frac{1}{2}$ 覆っている、 $1 = \frac{1}{20} \sim \frac{1}{4}$ 覆っている、 $1' = \frac{1}{100} \sim \frac{1}{20}$ 覆っている、 $+$ ＝ $\frac{1}{100}$ 未満覆っている

平均被度（調査した全方形区に対する各被度の数値の平均）を計算する（1'は0.2、+は0.04として計算する）。例えば、オオバコでは、 $2+1+2+8=0.625$ となる。

平均被度が最大のものの被度%を100とし、それを基準として他の植物の被度%を求める。

例えば、オオバコの場合は、 $0.625 \div \text{最も高い平均被度} = 35.7\%$ となる。

同様に、頻度が最大のものの頻度%を100とし、他の植物の頻度%を求める。例えば、オオバコであれば、オオバコの出現頻度は3なので、最も高い出現頻度の6が基準となるので頻度%は50となる。

被度%と頻度%を平均した値を優先度といい、この値が最大の植物種を優占種とする。

登山道の駐車場近くの平原において A～H の方形区を設定して調査した結果を以下の表に示す。

	A	B	C	D	E	F	G	H
シロツメクサ	1	3	1	—	2	4	3	—
オオバコ	—	—	2	1	—	—	—	2
セイヨウタンポポ	—	—	1	1	—	—	—	—
ニワホコリ	—	—	+	1	—	—	1	1

13

解答欄の平均被度、被度%、頻度%、優先度の表を完成させ、優占種を答えよ。

	平均被度	被度%	頻度%	優先度
シロツメクサ				
オオバコ	0.625	35.7	50	43
セイヨウタンポポ				
ニワホコリ				

優占種

問4

登山道で多くのオオバコが生えていることに気がついた。オオバコが登山道に生える理由

について答えよ。

14

2022 年度 愛媛大学ジュニアドクター育成塾 選抜試験 2 問題および解答用紙

受験番号記入欄

○注意事項

- 試験開始の合図があるまで、この問題および解答用紙の中を見てもいいです。
- この冊子は表紙を含んでページです。問題と解答用紙が一緒になっているのでホチキスをはさみずさないようにしてください。
- 試験中に本冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁、試験解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手をあげて監督者に知らせてください。
- 問題は1問です。記号を○で選ぶとき、記述は読みやすい字で、丁寧に書いてください。
- 配点は100点です。
- 試験終了後、この冊子は回収されます。
- 選抜試験の解説は愛媛大学ジュニアドクター育成塾の Web ページで公開します。

1

現在、投資（利益を見込んで自己資金を投じること。例えば、株を買って自己資金を増やすなど）の世界でも環境等に配慮することが求められている。ESG 投資とは、環境（E: Environment）、社会（S: Society）、統治（G: Governance）の頭文字をとって、企業等も環境に配慮した取り組みを行わないと融資（銀行などの金融機関からお金を借りること）が得られない状況となってきた。そのため、現在は多くの企業で SDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標) に取り組んでいます。SDGs は 17 の目標と 169 のターゲットが掲げられている 2030 年までに達成したい国際的な目標です。

SDGs の 17 の目標

1 貧困をなくそう、2 飢餓をゼロに、3 すべての人に健康と福祉を、4 質の高い教育をみんなに、5 ジェンダー平等を実現しよう、6 安全な水とトイレを世界中に、7 エネルギーをみんなに。そしてクリーンに、8 働きがいも経済成長も、9 産業と技術革新の基盤を作ろう、10 人や国の不平等をなくそう、11 住み続けられるまちづくりを、12 つくる責任、つかう責任、13 気候変動に具体的な対策を、14 海の豊かさを守ろう、15 陸の豊かさを守ろう、16 平和と公正をすべての人に、17 パートナリシップで目標を達成しよう

あなたは会社の経営者です。SDGs に合わせた企業活動の提案を行ってほしい。まずは下記の提案例を見てほしい。

事業名：フェアトレードで発展途上国の生活を豊かにしよう！
事業の背景と目的 発展途上国は未だに不平等な取引で安く輸出品を買いたたかっている。そこで、フェアトレードを推進するために発展途上国の企業に、金融を中心とした教育を提供すると共に、現地でさらに発展可能な農業について提供する。
事業計画 発展途上国に対応した金融教育のプログラムを開発する。さらに現地の気候に合う農作物を提供する。
期待される成果 発展途上国の人々が働く意欲が増し、平等な貿易で豊かになる。
対応する SDGs: 4・8・10

上記の提案書を見た審査員は下記のアドバイスをしました。
・具体的な対象国の設定など具体性を高める
・数値など具体的な目標を段階的に提案すべき

2

・発展途上国の視点のみではなく、相手の方の視点でも効果を考えるべき

審査員のアドバイスに基づいて下記のように修正しました。

事業名：フェアトレードで発展途上国の生活を豊かにしよう！
事業の背景と目的
発展途上国は未だに不平等な取引で安く輸出品を買いたたかれています。そこで、フェアトレードを推進するために発展途上国の企業に、金融を中心とした教育を提供すると共に、現地でさらに発展可能な農業について提供する。対象となる国は本県に留学生が多く交流があるフィリピンとインドネシアを対象とする。発展家の名農業としては二毛作に適する作物を選定し、農業用機械を導入し、単位面積当たりの収穫量を増やすことで、さらに収入を増やすことを可能とする。また、フェアトレードに協力した企業には、フェアトレードを行っていることをアピールできる認証を与え、経済的支援も行い、推奨する。
事業計画
発展途上国に対応した金融教育のプログラムを開発する。さらに現地の気候に合う農作物を提供する。 ・2024年までに、支援する企業のリストアップと金融教育プログラムの開発 ・2024年から、対象となった10の企業にオンラインによる金融教育プログラムの実施 ・2025年から、教育プログラムの効果を検証し、プログラムの改善を行う ・二毛作に適する作物及び農業用機械の選定と支援を2024年までに確定する
期待される成果
発展途上国の人々が働く意欲が増し、平等な貿易で豊かになる。また、栽培効率を増加させることで、自然破壊を抑制し、限られた農地で収入を安定させることができる。支援した企業側は、フェアトレードによる支出が増加するが、フェアトレードを行っていることをアピールすることで、企業イメージがよくなり、さらなる発展が見込まれる。
対応するSDGs：4・8・9・10・12・16

○上記の提案例を参考にして、次ページの提案書の枠に記入し、提案書を作成せよ。

提案書

事業名：

事業の背景と目的

事業計画

期待される成果

対応するSDGs：

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～

Modern solutions for problems in “Zatsudai” by Sahei Onishi

宮崎智也^{*1}, 吉岡倅佑^{*1}, 原本博史^{*1}, 〇安部利之^{*1}

MIYAZAKI Tomoya^{*1}, YOSHIOKA Kosuke^{*1}, HARAMOTO Hiroshi^{*1}, ABE Toshiyuki^{*1}

^{*1} 愛媛大学教育学部

^{*1} Faculty of Education, Ehime University

[要約]: 愛媛県の和算家大西佐兵衛の編集した『雑題』全30巻のうち、本年度取り組んだ第8巻の問題の現代解を紹介する。

[キーワード]: 和算 (Wasan, Japanese Mathematics), 三平方の定理 (Pythagoras' Theorem), 二次方程式 (Quadratic Equations), 複素数平面 (Complex Plane), 課題研究 (Themed Research)

1 はじめに

本稿では、現在取り組んでいる大西佐兵衛の編集した『雑題』の現代解について紹介する。大西佐兵衛は愛媛県を代表する和算家の一人であり、伊佐爾波神社には氏の奉納した算額（自作の問題を板版に記載し、解けたことを感謝し絵馬のように神社に奉納したもの）が残っている。雑題では、基本的な問題から難解な問題まで多く扱っており、各巻には10題程度の問題が挙げられている。今回参考にしたものは雑題（全30巻）の第1巻から第10巻までを翻訳した資料（浅山:2019）である。この資料では、雑題の答えと術文（答えを与える最終的な数式を文章で説明したもの）の写し、および現代語訳が記載されているが、術文がどのように得られているのかの解説（解義）の記載がないため、問題の解決および術文の検証については読者が考察する必要がある。愛媛和算研究会では、数年前より資料（浅山:019）を通して、雑題で扱われている問題の研究を行っている。本論文では、愛媛和算研究会の定例会（2023年2月19日開催）で発表した愛媛大学教育学部の3回生の考えた現代解を交えて紹介する。

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校数学までに扱う基本的な公式を用いる場合も多いが、その問題解決およびそ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、よりよい解を見つけるための試行錯誤や問題分析、見つけた解答の改善、別解の探索、そして術文（和算解）との照合など、一つの問題から、多種多様な知識と技能の定着、そして考察、よりよい解説や表現方法の検討を実践できる。難易

度の設定が難しく、和算では基本的と思われる公式も、それほど容易に理解できるものとは限らないため、取り組む人（生徒）によって問題に対する印象は変わるが、和算の解法では、一つの解き方ではなく、既に解かれた問題についても、様々な観点からのアプローチが実行できるという点で教材として優れている。本論文で、その一例が紹介できれば幸いである。

愛媛和算研究会の定例会において、発表の機会を与えて頂き、また取り組んだ学生達にもあたたかなコメントをくださいました谷本賢治先生にこの場を借りてお礼申し上げます。

2 現代解の解説

以下では、浅山による『雑題』を現代語に翻訳した資料（浅山:2019）を参考にしている。その資料にある第8巻の第1問～第4問の問題、答え、術文を紹介し、その現代解の例を述べる。

2.1 第8巻第1問

問題 3. (問題 8-1)

(問題文) 今、図1のように、外円¹内に5つの円を容れる（互いに接するように配置する）。外円の直径が20寸、甲円の直径が5寸のとき、丙円の直径はいくらか。

(答え) 丙円の直径は20寸。

(術文)

$$\text{丙} = \frac{(\text{外} - \text{甲}) \text{外}}{\text{外} + \text{甲}}.$$

¹原文では大円と記載があるが、外円と思われる。

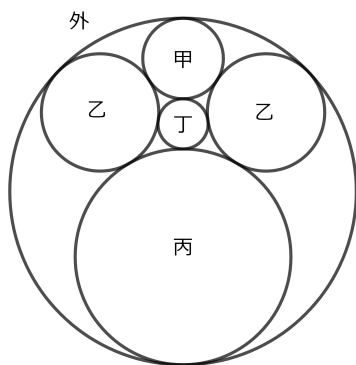


図 1. 問題 8-1

ただし、以下、円の名称を用いてその円やその円の直径を表す。例えば外円の直径を外と表す。

この問題は精要算法 (藤田, 1871) の下巻に掲載されている問題である。

(解法). 図 1 の外円, 甲円, 乙円, 丙円, 丁円の中心を O, O_1, O_2, O_3, O_4 とし, 半径をそれぞれ R, r_1, r_2, r_3, r_4 とする. これらの中心と中心を結んだ辺の抜き出すと, 次のようになる。

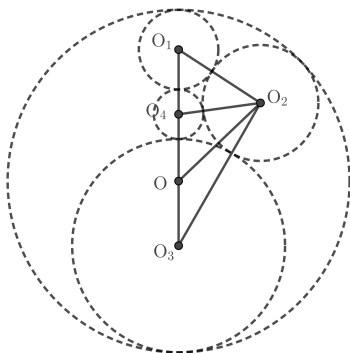


図 2. 問題 8-1 の円の中心の配置

まず、外円の直径は甲円, 丁円, 丙円の直径の和なので,

$$R = r_1 + r_4 + r_3 \quad (3.1)$$

が得られる. $\triangle O_1 O_2 O_3$ と点 O_4 対し, スチュワートの定理 (補助定理 20, 愛媛算額:2017) を適用すると,

$$\begin{aligned} & (r_2 + r_3)^2(r_1 + r_4) + (r_1 + r_2)^2(r_3 + r_4) \\ &= (r_1 + r_3 + 2r_4)((r_2 + r_4)^2 + (r_1 + r_4)(r_3 + r_4)) \end{aligned}$$

が成り立つことがわかる. これに (3.1) を代入して r_4 を消去すると,

$$\begin{aligned} & (r_2 + r_3)^2(R - r_3) + (r_1 + r_2)^2(R - r_1) \\ &= (2R - r_1 - r_3)(R - r_1 + r_2 - r_3)^2 \\ &+ (2R - r_1 - r_3)(R - r_3)(R - r_1) \end{aligned} \quad (3.2)$$

が得られる. 次に $\triangle O_1 O_2 O_3$ と点 O 対し, スチュワートの定理を適用すると,

$$\begin{aligned} & (r_2 + r_3)^2(R - r_1) + (r_1 + r_2)^2(R - r_3) \\ &= (2R - r_1 - r_3)(R - r_2)^2 \\ &+ (2R - r_1 - r_3)(R - r_1)(R - r_3) \end{aligned} \quad (3.3)$$

が得られる.

ここで, $2R$ は外円の直径なので, $2R > r_1 + r_3$ であることに注意する. (3.2) と (3.3) を辺々足すと, R, r_1, r_3 の多項式として両辺とも $2R - r_1 - r_3$ を因子として持つ. よって, $2R - r_1 - r_3 \neq 0$ より, これで割ると,

$$(r_1 + r_3)r_2 = (R - r_1)(R - r_3) \quad (3.4)$$

が得られる. 一方 (3.3) を展開すると, 次の r_2 の一次方程式が得られる.

$$(R^2 - r_1 r_3)r_2 = R(R - r_1)(R - r_3). \quad (3.5)$$

従って, (3.4)–(3.5) の r_2 を消去して,

$$R(r_1 + r_3) = R^2 - r_1 r_3$$

が得られる. これを r_3 について解くと,

$$r_3 = \frac{R(R - r_1)}{R + r_1}$$

従って

$$\text{丙} = 2r_3 = \frac{2R(2R - 2r_1)}{2R + 2r_1} = \frac{\text{外}(\text{外} - \text{甲})}{\text{外} + \text{甲}}$$

となり, 術文を得る.

この式に 外 = 20(寸), 甲 = 5(寸) を代入すると, 丙 = $\frac{15 \cdot 20}{25} = 12$ (寸) が得られる. $\square$

補足 3.1. 問題 8-1 は, 円に関する反転を用いる方法もある. 円に関する反転は, 和算解では余り用いられないが, 現代解では非常に強力なツールとなっている. また, 本内容を発表した愛媛和算研究会の定例会では, 谷本氏により, 平田の考案した算変座標 (平田:2022) を用いる方法も紹介された.

3.1 第8巻第2問

問題 4. (問題 8-2)

(問題文) 今, 図のように, 直線上に 4 つの円を互いに接するように配置する. 甲円の直径が 100 寸, 丙円の直径が 64 寸, 丁円の直径が 48 寸のとき, 乙円の直径を求めよ.

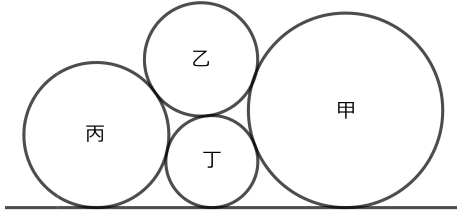


図 3. 問題 8-2 の配置

(答え) 乙円の直径は 72.9 寸.

(術文)

$$\text{天} = \sqrt{\text{甲丙}}, \quad \text{地} = 4(\text{天} - \text{丁})$$

とすると,

$$\text{乙} = \frac{\left(\frac{\text{甲} + \text{丙}}{\text{天}} + 2\right) \text{丁}^2}{\text{地}}$$

この問題も精要算法の下巻に記載がある. ただ雑題では, 精要算法の術文とは少し用語を変更し, より理解しやすくしている. ここでは, 算法助術にある公式を用いた解法を紹介する.

(解法). 算法助術の次の公式を用いる.

定理 4.1. (算法助術公式 47) 図 4 のように, 円 O_1 , O_2 , O_3 は互いに外接し, 円 O_1 と円 O_2 は直線に接している. 円 O_1 , O_2 , O_3 の直径を d_1, d_2, d_3 とし, $AB = h$ とおけば,

$$d_1 h + d_2 h - d_1 d_2 - 2\sqrt{d_1 d_2 d_3 h} = 0.$$

図 3 の甲円, 乙円, 丙円, 丁円の直径をそれぞれ d_1, d_2, d_3, d_4 とする. また乙円周上の点 A から直線に下した垂線の足を B とし, A が乙円周上を動くときの AB の最大値を h とする. このとき, 算法助術の公式 47 を甲円, 乙円, 丁円に適用すると,

$$d_1 h + d_4 h - d_1 d_4 - 2\sqrt{d_1 d_2 d_4 h} = 0. \quad (4.1)$$

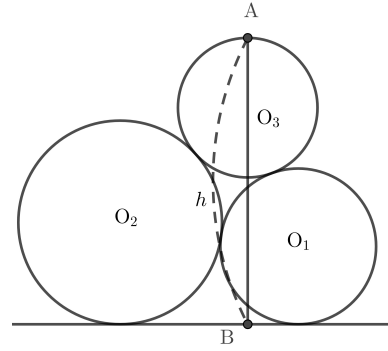


図 4. 算法助術 47

同様に, 丙円, 乙円, 丁円に適用すると,

$$d_3 h + d_4 h - d_3 d_4 - 2\sqrt{d_2 d_3 d_4 h} = 0.$$

以上より,

$$\begin{aligned} & (\sqrt{d_3}(d_1 + d_4) - \sqrt{d_1}(d_3 + d_4))h \\ &= d_1 \sqrt{d_3 d_4} - \sqrt{d_1 d_3 d_4} \end{aligned}$$

が得られ,

$$(\sqrt{d_1 d_3} - d_4)(\sqrt{d_1} - \sqrt{d_3})h = \sqrt{d_1 d_3 d_4}(\sqrt{d_1} - \sqrt{d_3}).$$

$d_1 \neq d_3$ の場合,

$$h = \frac{\sqrt{d_1 d_3 d_4}}{\sqrt{d_1 d_3} - d_4}$$

が得られる. これを (4.1) 式に代入し, d_2 について解くことで,

$$d_2 = \frac{\left(\frac{d_1 + d_3}{\sqrt{d_1 d_3}} + 2\right) d_4^2}{4(\sqrt{d_1 d_3} - d_4)}$$

が成り立つことがわかり, これは術文の式と一致している. $\square$

4.1 第8巻第3問

次の問題も精要算法の下巻にある問題である.

問題 5. (問題 8-3)

(問題文) 今, 図 5 のように, 三角形の内部に甲, 乙, 丙の三つの正方形を容れる. 大斜が 17855 寸, 中斜が 14641.1 寸, 小斜が 7499.1 寸のとき, 甲正方形の一辺の長さを求めよ. またその解法も問う.

(答え) 甲正方形の一辺は 3738 寸.

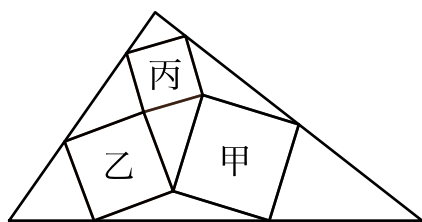


図 5. 問題 8-3

(術文)

$$\begin{aligned} \text{天} &= \text{大斜}^2 + \text{中斜}^2, \\ \text{地} &= \frac{\sqrt{4 \text{大斜}^2 \text{中斜}^2 - (\text{天} - \text{小斜}^2)^2}}{2} \end{aligned}$$

とし²,

$$\text{法} = 3 \text{地} + \text{天} + \text{小斜}^2$$

とすると,

$$\text{甲方面} = \frac{\sqrt{2 \text{天} - \text{小斜}^2} \text{地}}{\text{法}}$$

となる. ここで, 甲方面とは, 甲正方形の一辺の長さである.

(解法). ここでは複素数平面を利用した解法を紹介する. 雑題の和算解とは全く異なるはずだが, 正方形の各頂点を複素数の四則演算を用いて表すことができ, 更に連立 1 次方程式を使って術文を導くことができるためとても便利である. さらに, 計算の見通しを良くするために問題の図 5 を左右反転させて, 図 6 のように甲に最も近い三角形の頂点を 0 とし, 甲が左側, 乙が右側にある図で考えることとする.

虚数単位を i で表す. 正の実数 a, b, c に対して, $0, a$ に対応する複素数平面上の点をそれぞれ O, A とし, 点 B を $OB = b, AB = c$ となる第 1 象限の点とする. このとき双股弦の術 (現在の余弦定理) から点 B に対応する複素数 $m + in$ ($m, n \in \mathbb{R}$) は

$$\begin{aligned} m &= \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a}, \\ n &= \sqrt{b^2 - m^2} = \frac{1}{2a} \sqrt{4a^2 b^2 - (a^2 + b^2 - c^2)^2} \end{aligned}$$

となる.

図 6 のように, 複素数平面上の点 P から X をとる. ただし, 点 P, R は実軸上の点とし, 点 Q は線分 OB 上

²(浅山:2019) における術文の現代語訳では, 地の式の右辺において, 小斜² が 小斜 となっているが, これは誤記であると思われる. ここでは修正したものを記述している.

の点であるとする. 特に点 P, Q, R に対応する複素数はそれぞれ $p, q + i \frac{n}{m} q, r$ ($p, q, r \in \mathbb{R}$) と表すことができる.

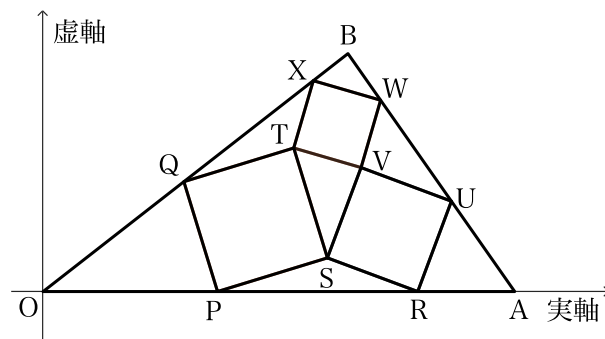


図 6. 複素数平面における配置

以降, 点 S, T, U, V, W, X に対応する複素数を, それぞれ s, t, u, v, w, x で表す. 点 S は, 点 P を中心に Q を $-\frac{\pi}{2}$ 回転した点であるから,

$$\begin{aligned} s &= \left(\cos \frac{\pi}{2} - i \sin \frac{\pi}{2} \right) \left(q + i \frac{m}{n} q - p \right) + p \\ &= -i \left(q + i \frac{m}{n} q - p \right) + p \end{aligned}$$

である. また, 点 T は, 点 P を中心に Q を $-\frac{\pi}{4}$ 回転して $\sqrt{2}$ 倍した点であるから

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{2} \left(\cos \frac{\pi}{4} - i \sin \frac{\pi}{4} \right) \left(q + i \frac{m}{n} q - p \right) + p \\ &= (1 - i) \left(q + i \frac{m}{n} q - p \right) + p \end{aligned}$$

である.

同様に, 点 U, V, W, X はそれぞれ

$$\begin{aligned} u &= -i(s - r) + r \\ v &= (1 - i)(s - r) + r \\ w &= -i(t - v) + v \\ x &= (1 - i)(t - v) + v \end{aligned}$$

と表すことができる. ここで点 U, W が線分 AB 上の点であることと, 点 X が線分 OB 上の点であることから

$$\begin{aligned} \text{Im}(u) &= -\frac{n}{a - m} (\text{Re}(u) - m) + n, \\ \text{Im}(w) &= -\frac{n}{a - m} (\text{Re}(w) - m) + n, \\ \text{Im}(x) &= \frac{n}{m} \text{Re}(x) \end{aligned}$$

が成り立つ. これらの式を具体的に書き下すと

$$(2am - 2m^2 + 3mn)p + (-3am - an + 3m^2 + 3n^2)q \quad (5.1)$$

$$+ (am - m^2 - mn)r = amn,$$

$$(-am + m^2 + mn)p - anq + (am - m^2 + mn)r = amn, \quad (5.2)$$

$$(3m^2 - mn)p + (-3m^2 - 3n^2)q + mn r = 0. \quad (5.3)$$

これを p, q, r を未知数とする連立 1 次方程式と考えて解くと³

$$p = \frac{a^2m + am^2 + an^2}{2a^2 - 2am + 3an + 2m^2 + 2n^2},$$

$$q = \frac{a^2m + am^2}{2a^2 - 2am + 3an + 2m^2 + 2n^2},$$

$$r = \frac{a^2m + 3a^2n + am^2 + an^2}{2a^2 - 2am + 3an + 2m^2 + 2n^2}$$

となる. このとき線分 PQ の長さは

$$\begin{aligned} & \sqrt{(p-q)^2 + \left(\frac{n}{m}q\right)^2} \\ &= \frac{an\sqrt{a^2 + 2am + m^2 + n^2}}{2a^2 - 2am + 3an + 2m^2 + 2n^2} \\ &= \frac{an\sqrt{a^2 + (a^2 + b^2 - c^2) + b^2}}{2a^2 - (a^2 + b^2 - c^2) + 3an + 2b^2} \\ &= \frac{\sqrt{2(a^2 + b^2) - c^2}an}{3an + a^2 + b^2 + c^2} \end{aligned}$$

であるが, これは a を大斜, b を中斜, c を小斜とし,

$$\text{天} = a^2 + b^2$$

$$\text{地} = an = \frac{1}{2}\sqrt{4a^2b^2 - (a^2 + b^2 - c^2)^2}$$

$$\text{法} = 3an + a^2 + b^2 + c^2$$

とおくと甲方面を求めるための術文と一致する.

この問題では $a = 17855, b = 14641.1, c = 7499.1$ の場合だから, 上記の式を用いて甲方面を求めると 3738 となり, 雑題の解答に示されている値と一致する. $\square$

5.1 第 8 巻第 4 問

問題 6. (問題 8-4)

(問題文) 今, 図 7 のように, 円弧内に等円と小円を容れる. 等円の直径と弦の長さを用いて, 分数の形⁴で

³以降は単なる文字式の計算であるが非常に煩雑であるため, GeoGebra の CAS (Computer Algebra System) を利用している.

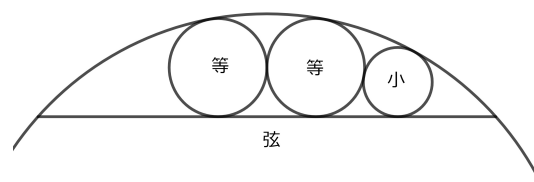


図 7. 問題 8-3

小円の直径を表せ.

(答え) 術文の通り.

(術文)

$$\text{法} = (3 \text{等}^2 + \text{弦}^2)^2, \quad \text{実} = (\text{弦}^2 - \text{等}^2)^2 \text{等}$$

とすると,

$$\text{小} = \frac{\text{実}}{\text{法}}.$$

(解法). この問題は, 図 8 のように幾つかの補助線を引くことで得られる直角三角形において三平方の定理を用いることで証明できる. ただし, 全円の半径を R ,

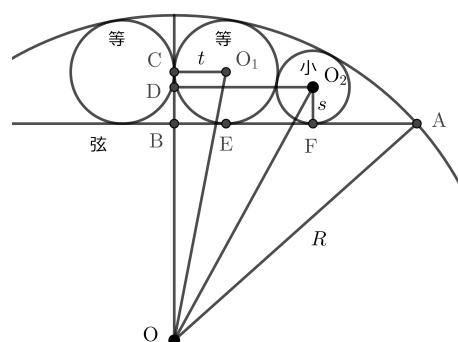


図 8. 解法の配置

弦長を $2b$, 等円の半径を t , 小円の半径を s とおく.

$\triangle OO_1C$, $\triangle OO_2D$, $\triangle OAB$ に三平方の定理を適用すると, それぞれ

$$(R-t)^2 = (R-a+t)^2 + t^2, \quad (6.1)$$

$$(R-s)^2 = (R-a+s)^2 + (t+2\sqrt{ts})^2, \quad (6.2)$$

$$R^2 = (R-a)^2 + b^2 \quad (6.3)$$

を得る. (6.1) と (6.3) を辺々引くと,

$$-2tR + t^2 = 2t(R-a) + 2t^2 - b^2.$$

⁴原文には歸除とあり, これは歸除のことで, 桁数にこだわらず割り算を行うことを意味している.

これより,

$$a = \frac{t^2 + 4tR - b^2}{2t}. \quad (6.4)$$

これを (6.3) に代入して,

$$R = \frac{(t^2 + b^2)^2}{4t(b^2 - t^2)}. \quad (6.5)$$

そして, (6.4) より,

$$a = \frac{2b^2t}{b^2 - t^2} \quad (6.6)$$

が得られる. (6.5)–(6.6) を (6.2) に代入すると, $\sqrt{s}$ の二次方程式

$$(b^2 + 3t^2)\sqrt{s}^2 + 4t^2\sqrt{t}\sqrt{s} + t(t^2 - b^2) = 0 \quad (6.7)$$

が得られ, これを $\sqrt{s}$ について解けば,

$$\sqrt{s} = \frac{\sqrt{t}(b^2 - t^2)}{b^2 + 3t^2}, \quad -\sqrt{t} \quad (6.8)$$

が導かれる. しかし, $\sqrt{s} > 0$ より,

$$\sqrt{s} = \frac{\sqrt{t}(b^2 - t^2)}{b^2 + 3t^2} \quad (6.9)$$

であるので, 実 = $2(4\sqrt{t}(b^2 - t^2))^2 = (\text{弦}^2 - \text{等}^2)$ 等,
法 = $(4(b^2 + 3t^2))^2 = (\text{弦}^2 + 3 \text{等}^2)^2$ とおくことで,

$$\text{小} = 2\sqrt{s}^2 = \frac{\text{実}}{\text{法}}$$

となることがわかる. $\square$

7 終わりに

本論文では, 2023 年 2 月 19 日に開催された第 48 回愛媛和算研究会の定例会において発表した解法及びここでは発表できなかった解法をまとめている. 今回紹介した問題は, 雑題の第 8 巻の第 1 問から第 4 問の 4 問であり, 定例会では, 著者のうち宮崎, 吉岡が, 第 2 問と第 4 問の解法をそれぞれ発表した. これらの問題は, 非常に有名な和算書『精要算法』(藤田:1781)からの引用であり, 大西佐兵衛が精要算法をはじめとする多種の和算書にも精通していることを物語っている. 実際, 雑題は第 8 巻以外にも精要算法からの引用が数多く載せられている. 言い換えれば, これらの問題の解法については, 精要算法の解説書においてすでに解説されており, 本論文に掲載した解法は細かい点は異なるが, 大筋ではその解答例の一つに過ぎない(ただ

し, 第 3 問の解法は新規の物である). 本論文に掲載している解法は, 学生自身が, 問題の解法について未知の状態から考察したものである. 学生が考えた手法であるため, その解法も三平方の定理や余弦定理を用いるなど, 基本的な手法のみで実行しており, より高等学校の生徒にも理解しやすい解法となっている. 実際, 第 1 問, 第 2 問, 第 4 問については数学 A の知識で解法を導くことができる. 一方で, 第 3 問は難問であり, 和算解では複雑な補助線と多くの計算を必要とするが, ここで挙げた解法では, 複素数平面と複素数の幾何的性質を用いた解法であり, この解法は著者の知る中では新しい解法である. 問題をそのまま高等学校の教材に使用することは難しいが, 複素数の基本的な幾何的性質を適切に用いている点で, 数学 C に関する課題研究の題材として利用可能であると考えている.

今回紹介した 4 問は和算全体に比べれば本当に一握りの問題でしかないが, 現代解の考察を通して, 和算家の驚くべき計算力を実感するとともに得もすれば技巧的になりすぎる和算解を, 現代の数学の観点から明瞭な形で見直すことも和算の問題に取り組む大きな動機である. 和算の研究を通して, 数と式, そして図形の問題, 場合によっては関数や変換について総合的に扱うことが可能であるので, 教材の発掘として更なる研究を進めて行きたい.

参考文献

- 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.
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.
平田浩一 (2022): 算変法不等式が作る座標系について, 松山大学論集 **34-1**, 57–103, 松山大学総合研究所.
藤田定資 (1781): 精要算法, 京都大学貴重資料デジタルアーカイブ.

愛媛大学ジュニアドクター育成塾の教育効果に関する研究 —修了生への追跡調査の結果を中心に—

A Study on the Educational Effects of the Ehime University Junior Doctor Training School
—Focusing on the results of follow-up surveys of graduates—

○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】ジュニアドクター育成塾の趣旨は「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する」ことである。愛媛大学は、平成29年（2017年）同事業の実施機関として採択され、プログラムを開発・実施した。令和3年度（2021年）に5年間の第1期を満了したが、2022年度に再度採択された。本研究では、本学のジュニアドクター育成塾第1期の5年間に在籍した受講生を対象として、本プログラムで学んだことが、その後の学習、生活、進路に対してどのような影響を与えたのかについて調査を行った。調査の結果、修了生の科学、研究に対する意識が変化したことや、本プログラムで設定していた「なぜを問う力」「考える力」「表現する力」「協働する力」の4つの力の獲得と持続性を確認できた。

【キーワード】ジュニアドクター育成塾、教育効果、追跡調査、進路選択、意識変容

I. はじめに

国立研究開発法人科学技術振興機構（以下、略称JST）は、平成29年からジュニアドクター育成塾を実施している。その趣旨は「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する」ことである。愛媛大学は、平成29年（2017年）同事業の実施機関として採択され、プログラムを開発・実施した。令和3年度（2021年）に5年間の第1期を満了し、2022年度に再度採択され、現在は第2期のプログラムを開発・実施している。

本事業では、プログラムを開発とともに、プログラムに教育効果を測定する評価方法の開発も求められている。例えば、本学では講座毎の短評評価（振り返り動画）のループリックによる評価と自己評価により、「なぜを問う力」「考え力」「表現する力」「協働する力」の4つの力の伸長を測っている。また、鳴門教育大学が主導している徳島県高等教育機関連携型「ジュニアドクター発掘・養成講座」においては実施担当者・メンター及び評価部会委員による複数の評価体制を敷き、評価の結果は個々の受講生に随時フィードバックするようにした（早藤ら、2018）。

しかし、ジュニアドクター育成塾で教育を受けた後、その効果の持続性に関する調査は管見の限り見当たらない。そこで、本研究では、本学のジュニアドクター育成塾第1期の5年間に在籍した受講生を対象として、本学で学んだことが、その後の学習、生活、進路に対してどのような影響を与えたのかについて調査を行った。本調査の結果は、本学のジュニアドクター育成塾における今後の教育の内容と質を改善し、将来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寄与することを期待できる。

II. 研究の方法

1. 対象とデータ概要

本研究はアンケートの実施を通じて、収集したデータを集計し、そのデータの結果に基づいて分析を行った。調査の対象は2017～2021年の間に、愛媛大学ジュニアドクター育成塾の講座を受講した小中学生である。その中でも、第1段階、2段階の受講生がいるが、区別せずアンケートの対象として扱った。本研究は未成年を対象にしたため、愛媛大学教育学部研究倫理委員会の研究倫理審査の承認を得て調査を行った（R4-46）。

アンケートの調査期間は2023年1月18日～2月13

日であり、回収は 77 件（有効回収率約 50%、無効アンケート 0 件）であった。

2. 分析方法

本研究の教育効果の測定は下の表 1 の指標に基づいて行った。教員の現職研修の効果を測るために、企業人材開発の効果でよく使われる Kirkpatrick, D. L4 段階評価と社会学者 Andy Hargreaves の 3 次元の評価基準に基づいて新しい測定指標が作成されている（孫, 2015）。本研究は科学人材育成の特徴を有するため、この枠組みを借用し、指標の中身を修正した（表 1）。

表 1 教育効果の測定指標

指標	内容	対象	方法
知識効果	どのような知識を学んだか。		

効果の長さ	意識、態度効果	意識がどのように変わったか。	受講生	アンケート
	理論活用効果	どの程度、講座内容を学校、地域で活用したのか。		
	行動変容効果	進路選択が変わったのか。		

（孫, 2015 : 132 を一部引用し、筆者作成）

Ⅲ. 結果

1. 基本情報について

回答者が本プログラムを受講した年度について図 1 に示す。図 1 によると、今回の回答者においては 2021 年第 1 段階の講座の経験者からの回答率が最も高く、第 2 段階の研究指導を経験した回答者数は 2020 年度の受講生が 18. 2%と最も高かった。

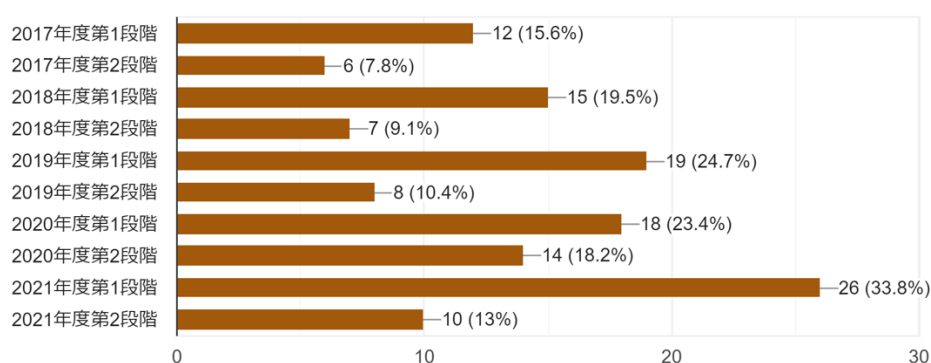


図 1 回答者が受講したこと講座と研究指導の年度・段階

今回の調査では、過去 5 年間に本学で講座を受講し、現在の在学と活躍状況を把握するため、基本情報として現在の所属に関する項目も設定した（各項目の回答は任意である）。その回答結果を図 2 に示す。図 2 より調査時点で回答者多くは中学生であり、中でも 27 人が公立中学校で学んでいた。続いて、私立中学校と公立中等教育学校がそれぞれ 5 人。国立中学校が 3 人、中等教育学校普通科と義務教育学校がそれぞれ 2 人、国立中等教育学校に在学しているものは 1 人であった。高校生の回答に目を向けると、最も人数が多いのは

普通科の 10 人であり、私立高等学校に通うものは 4 人、高等学校総合科、高等学校 SSH 校の生徒はそれぞれ 1 人であった。また、回答者のうち 2 人の受講生が国立大学に進学していた。その他の回答を見ると、国公立小学校に在学している生徒が 7 人。国立高等専門学校に在学する生徒が 3 人、国立高等専門学校（電気情報工学科）の生徒が 1 人であった。具体的な学校名には、論文の分量の関係で、全てを開示しないが、集まった情報から見ると、愛媛県外の学校に通っている生徒も若干名であった。また、高専の生徒も愛媛県だけではなく県外にもいることが確認できる。

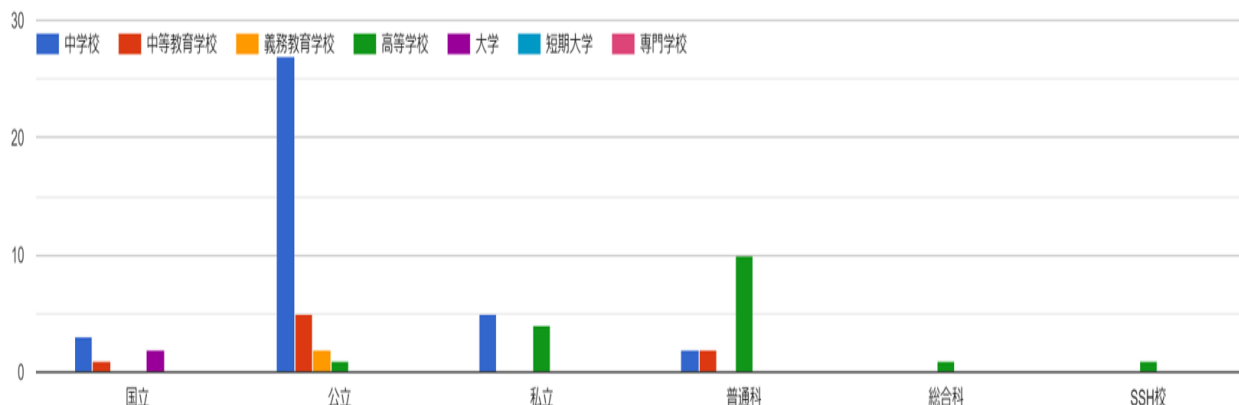


図2 回答者の所属状況

2. 教育効果について

本論では教育効果の測定については、先述した表1の4指標、「知識効果」「意識、態度効果」「理論活用効果」「行動変容効果」から以下のような結果を得た。

(1) 科学知識に関する効果

調査の中で、過去5年間に本学のジュニアドクター育成塾で受けた第1段階の各回の内容と知識が、どの程度、記憶に残っていたか把握するため、調査票の中で、過去5年に開講した講座のテーマを全て並べた。

右側の図3で示すようにトップ三つの回答者の選択は、講座テーマ、第1位「様々なジュースの濃度測定とミラクルフルーツによる味覚の変化を体験してみよう」(32.5%)、第2位「ハイブリッドロケット〜ペットボトル・ハイブリッド・ロケット (PHR) を作り、飛ばしてみよう!〜」(26%)、第3位「研究倫理教育: 動物園の役割について学ぼう!」(23.4%)であった。この三つのテーマの共通性は、日常生活と紐づけて、物理、生物、化学など分野を超えると同時に、実践性が強いという特徴がある。これらは研究倫理を深く理解する科学者の基本素養として必須だと思われる。

また、第2段階の研究指導で印象に残っていたことについては、「普段の指導における討論・発表」「最終発表会」「学会発表など講座外での発表」の三つ選択肢

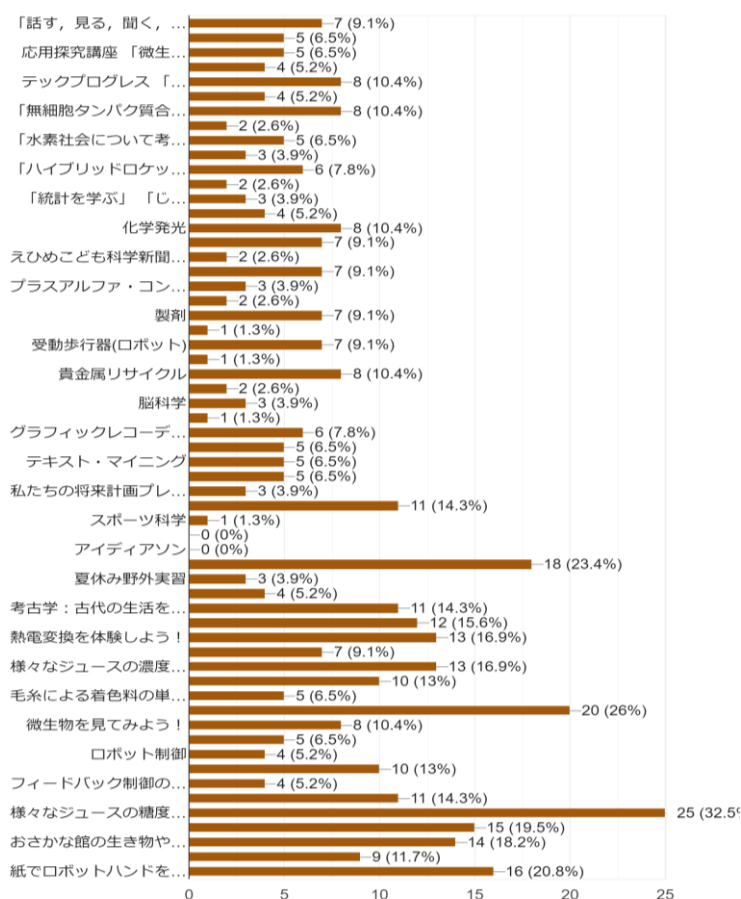


図3 印象に残っている第1段階の講座のテーマ

の中で、「普段の指導における討論・発表」(54.3%) (次の図4)を選んだ回答者が最も多かった。ここで設定した三つの選択肢以外に、その他「ジュニアドクター育成塾サイエンスカンファレンスでの発表」「施設を巡ったり、実験したり動いて学ぶこと」「普段の研究」など印象があった研究指導活動が追加された。

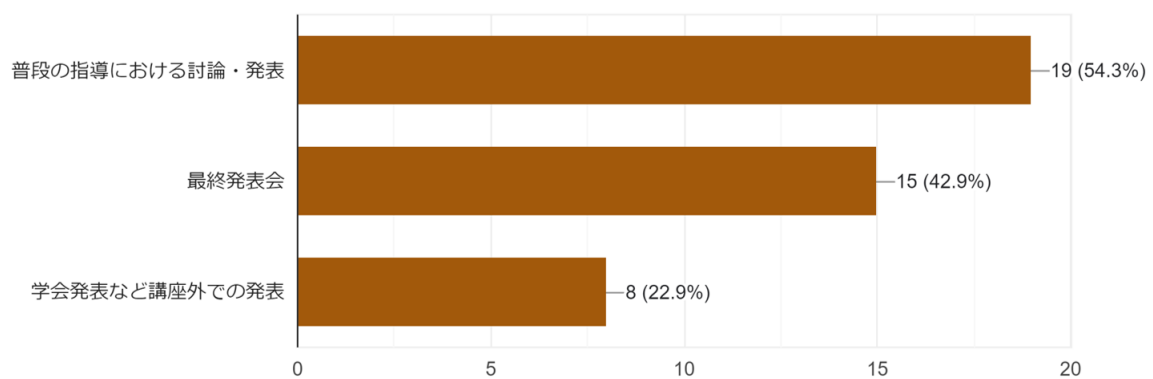
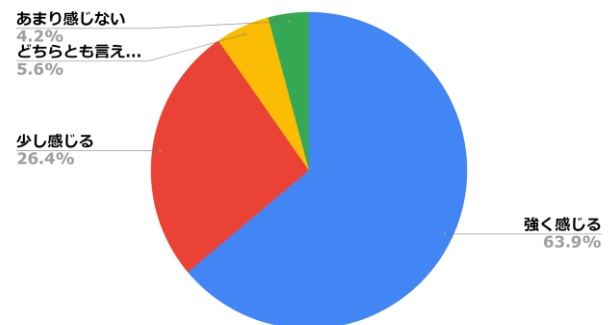


図4 印象に残っている第2段階の活動

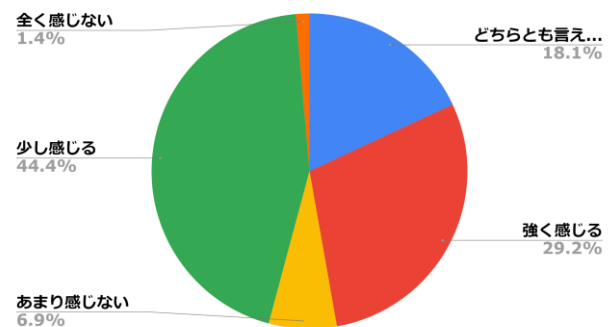
(2) 意識、態度の効果

ジュニアドクター育成塾での勉強は未来の科学者としての基本的素養、科学の基礎を身につける以外に、研究に対する意欲・能力を伸長する目的もある。本学の講座を受ける前後の生徒の意識の変化からも本学のジュニアドクター育成塾の教育効果が考察できる。特に、この意欲、認識が時間とともに変化したかどうか、または回答が完全に変わった可能性もある。そして、本研究は「自然観」「科学観」「世界観」「職業観」「人生観」の五つ側面を巡って、回答者に「強く感じる」「すこし感じる」「どちらとも言えない」「あまり感じない」「全く感じない」の5件法で回答を求めた。図5（右側図と次頁の図）より、自然観と科学観の変化に関して、回答者は「強く感じる」がそれぞれ62.5%、63.9%であった。特に、自分の科学観は変化したと強く感じた生徒が最も多い。これに対して、世界観、職業観、人生観の変化は全て「少し感じる」を選んだ回答者が最も多い。自然観と科学観を主に意識、態度に変容があったと判断できる。

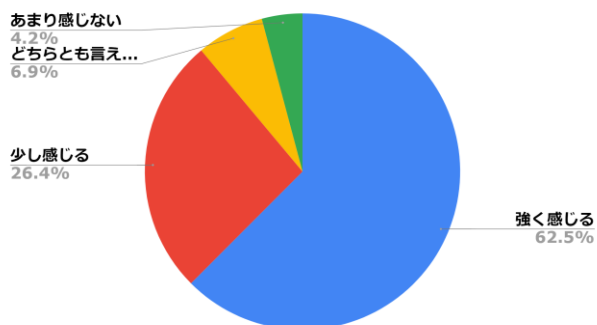
科学観



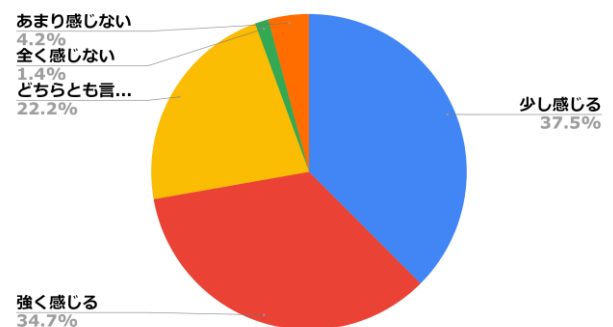
職業観



自然観



人生観



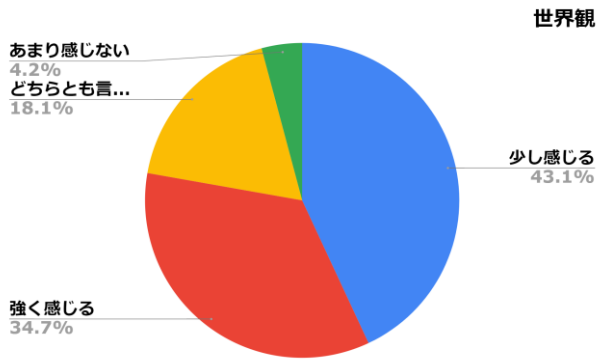


図5 認識の変化

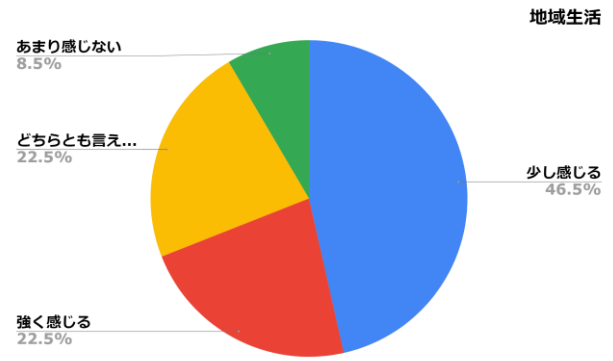


図6 学校、地域生活の中で学んだことの活用について

(3) 理論活用効果

実践の中で学んだ理論を活用できれば、それは理論への理解と思考力の向上のよい機会である。本学のジュニアドクター育成塾で講座を受け、学んだ知識、理論、研究方法などが普段の生活において、特に学校生活と地域生活でどの程度生かされているか把握するために、アンケートの中で関連する項目を設定した。その結果を図6に示す。図6より、修了生は本学のジュニアドクター育成塾で学んだことが地域生活よりも、学校生活の中で活かされていると強く感じていることが分かった。

また、本学のジュニアドクター育成塾では、「なぜを問う力」、「考える力」、「表現する力」、「協働する力」の4つの力を育成することに重点をおいて教育を行った。これらの4つの力が、修了生の現在の学習・生活に役立っていると感じた程度に関して、回答者の中で、「考える力」の機能と効果を強く感じたものが最も多い(図7)。また、この四つの力が勉強に役立っていることは、すべての回答者が強く感じるものが共通の特徴である。これを通じて、本学のジュニアドクター育成塾で開講した各講座は、修了生のこの4つの力を育てていたこと、同時にその活用可能な効果が維持されていたこと、子どもの資質能力向上に対して長く影響を与えていたことを確認できた。

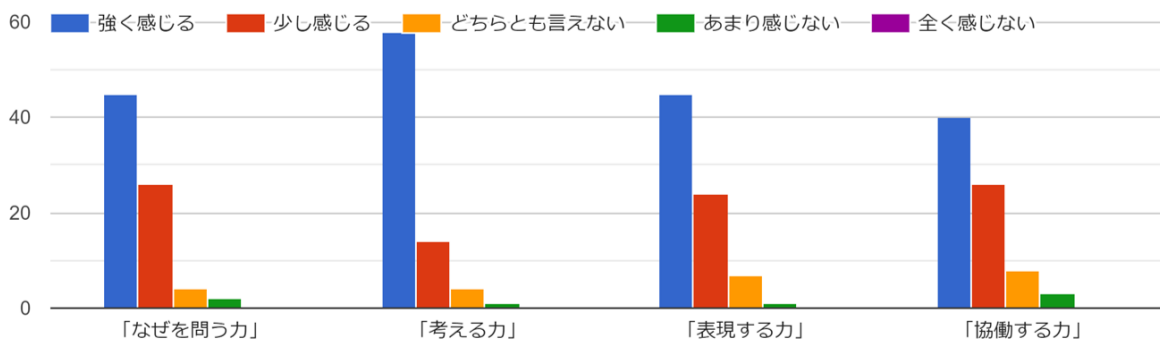
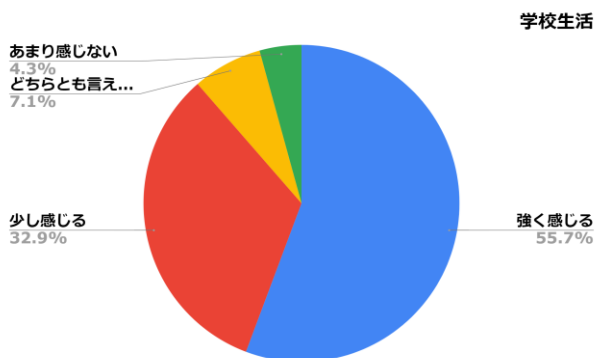


図7 4つの力に対する評価

(4) 行動変容効果

本研究の行動に関する効果測定は主に修了生の進路選択、進学状況を中心とした。将来従事したい職種

または分野に関する質問項目に対して、回答者の69.1% (図8) が明確に研究者・技術者の項目を選択した。

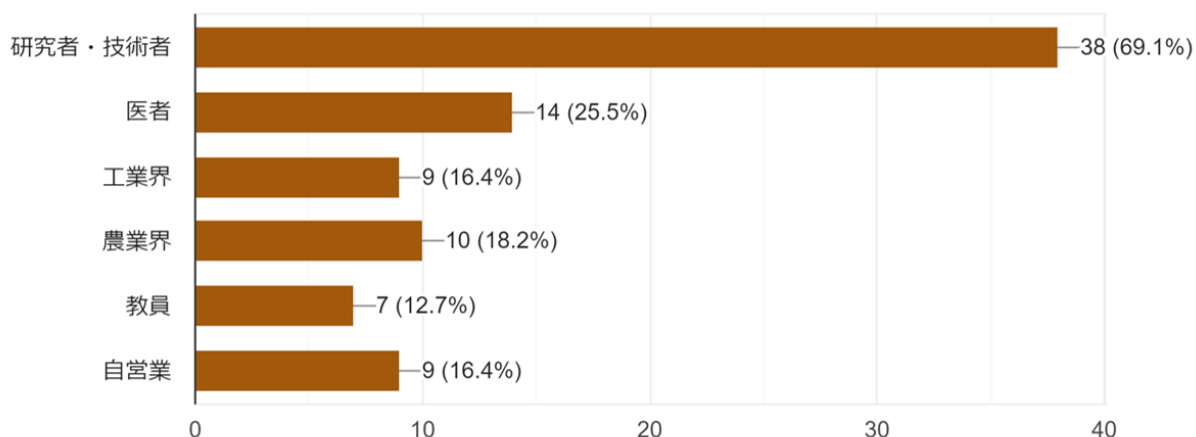


図8 修了生の進路希望状況について

その次のジュニアドクター育成塾で積み重ねていた経験が進路選択に与えた影響の程度の回答の中で、進学に影響を強く感じた修了生が最も多い (図9)。逆

に「就職」「起業」に影響を与えたと感じた修了生は非常に少ない。これは本事業の受講生の募集が小中学校生を対象としたことに関わっていると考えられる。

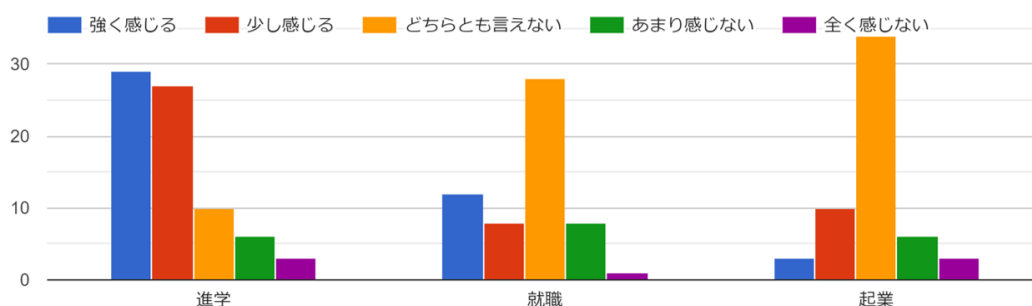


図9 ジュニアドクター育成塾での経験は進路選択への影響について

これと共に、図10に表したように、大学入試の役に立っと感じた回答者はほぼいない、前述したように、今回の回答者は中学、高校の生徒が多いためであると考えられる。ただ、高校入試に役を立っと感じ

る回答は最も多く、今後ジュニアドクター育成塾の教育効果が大学入試等でも有効である可能性があると思われる。

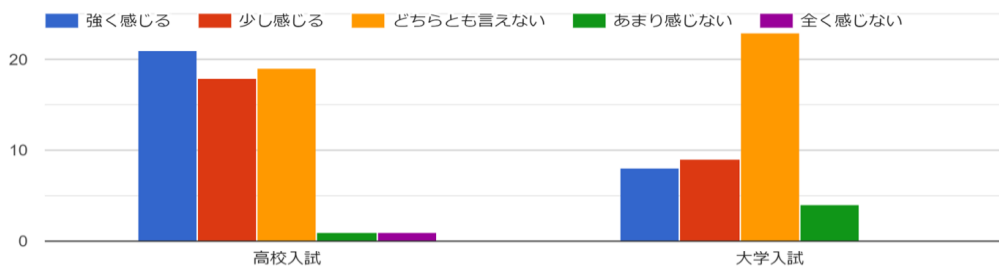


図10 受験などに対する効果

3. 総合評価とイベント参加の意識に見る効果

調査の最後には、総合的な講座への評価を求めた。図 11 にその結果を示す。図 11 より、回答者の 77.6% は講座を受けたことに対して「良かった」と「強く感じている」。これは修了生の本学のジュニアドクター育成塾への満足感の現れだと思われる。

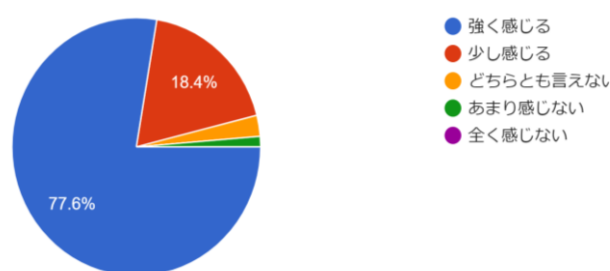


図 11 総合評価

総合評価以外に、今後愛媛大学ジュニアドクター育成塾の OB・OG としての活動を参加する意欲からも効果と評価を考察できる。図 12 によって、58.4%の修了生は「参加したい」と回答した。

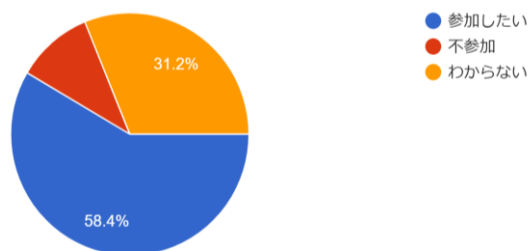


図 12 OB・OG としての活動の参加

IV. 考察

以上の分析により、本研究では科学人材育成に対する以下のような知見を述べたい。

第一に、教育効果の持続性を測定するために、科学基礎知識の学習には実践的な体験機会を活用したカリキュラムデザインが重要だと考察できる。本事業の特殊性は子どもの対等的な発達段階を超えた専門的知識に対する興味関心を引き起こすことである。ただ、これは小学校、中学校、さらに高校、大学の教科知識の単なる早修、特に子どもの発達段階で難度が高い知

識の理解を優先させるのではなく、まず、生物観や科学観を明確化させ、長く記憶に留められれば、無意識のうちにアイデアの源となり、これは今後の修了生の将来に非常に有効だと考えられる。この点について、本研究の調査を通じて、本学の実践的なカリキュラム開発はジュニアドクター育成塾での教育効果の持続性が確認でき、今後も引き続き力を入れるように開発すべきである。

第二に、物事の本質への認識とその変化は次世代科学人材育成の重要な一環であると述べたい。従来から、身の回りの自然、人文環境などへの疑問、思考、興味、関心は未来の科学研究の出発点である。本事業を通じて、基礎レベルである環境、生物などへの認識、科学に対する見方、考え方に影響があれば、カリキュラム開発と人材育成として有用であると思われる。また今日、科学研究、開発、発明など本人が従事する職業、活躍したい領域と関わっているため、職業の一つとして理解、体験することもその子の未来の選択に良い影響を与えられる。また、本事業の場で出会った他学校の同世代や、年齢は上下5歳の先輩、後輩らと共に、互いにも刺激を与えている。先述した調査結果から修了生らは自然、科学、職業などへの認識の変化を強く感じたと答えた。今後も科学人材育成における見えない部分の能力と資質の向上について、本学の講座と研究指導活動を継続したい。

V. おわりに

本研究は愛媛大学ジュニアドクター育成塾の修了生への追跡調査を通じて、本学が次世代の科学技術人材育成において開発したカリキュラムとプロジェクトの効果とその持続性を解明、検定した。過去5年間に、本学の講座を受けた小中学校生の科学、研究に対する意識が変化したこと、時を経ち、本学が期待する「なぜを問う力」「考える力」「表現する力」「協働する力」の4つの力の達成と活用にも良好な評価があったと判断できた。一方、本学のジュニアドクター育成塾で学んだ理論知識は地域生活の中であまり活用できないことも把握できた。これについて、今後のカリキュラムの課題として改善したい。

本研究は量的調査であり、修了生の活躍状況の具体的側面を把握しにくいという限界があった。今後も引き続き他の研究方法を通じて確認、調査を続ける必要

がある。

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うけて実施しました。アンケート調査に応じていただいた修了生の皆様のご協力に対しまして、ここに記して感謝申し上げます。

文献

愛媛大学ジュニアドクター育成塾実行委員会 (2021)
令和3年度業務報告書。

早藤幸隆・胸組虎胤・金児正史・田村和之・曾根直人・米澤義彦 (2018), 小中学生を対象とする次世代の科学技術者育成プログラムの開発と実践的評価: 日本科学教育学会年会論文集, 42, 555-558.

国立研究開発法人科学技術振興機構ジュニアドクター育成塾 web ページ, <https://www.jst.go.jp/cpse/fsp/>
(2023年2月20日最終確認)

向平和・中本剛・小助川元太・佐野栄・平野幹・阿野嘉孝・中原真也・山本智規・吉富博之・熊谷隆至・大西義浩・岡本威明・中村依子・加納正道・立川久美子・田鍋克仁 (2021): 小中学生対象のノンフォーマル科学教育プログラムの開発と実践ー愛媛大学ジュニアドクター育成塾の令和2年度実施内容を中心にー, 日本科学教育学会研究会研究報告, 36, 6, 31-34.

向平和・中本剛・佐野栄・加納正道・立川久美子 (2022): 愛媛大学ジュニアドクター育成塾の応募状況の分析, 科学教育研究センター紀要, 1, 2-5.

孫雪熒(2015): 中国における大学と学校のパートナーシップによる現職研修の効果と影響要因ー三つのパートナーシップの事例からの検討ー, 日本教師教育学会年報, 24, 130-140.

概念型探求の転移段階でエージェンシーを育む STEAM としてのキャリア教育 Career Education as STEAM for Enhancing Agency Using Transfer Phase in Concept-Based Inquiry

富田英司

TOMIDA Eiji

愛媛大学教育学部

Faculty of Education, Ehime University

【要約】本研究の目的は、STEAM 教育に関する近年の国内外の動向に基づいて、キャリア教育と STEAM 教育との関連について考察し、とエージェンシーを育むキャリア教育のための単元設計について検討することであった。特に本研究では近年世界中の国際バカロレア認定校を中心に広がりを見せている概念型探求のカリキュラムと指導法の内容を明らかにした上で、STEAM 教育の諸側面を備えたキャリア教育のあり方を示した。

【キーワード】 Agency, STEAM Education, Concept-Based Inquiry, Career Education

1. 問題と目的

OECD（経済協力開発機構）は 2019 年に学びの羅針盤 2030（Learning Compass 2030）という枠組を発表した（OECD, 2019）。その中で正課と準正課、非正課を横断する学びが提案され、児童生徒が教師や地域と共に国際的な視野を持って主体性を発揮するエージェンシー（Agency）の実現が期待されている。

科学教育との関係が深い STEAM にも、このエージェンシーという概念は深く関係している。STEAM は Science, Technology, Engineering, Art, Math 等の頭文字を繋げた造語であり、科学、技術、エンジニアリング、アート、数学等を横断して取り組む活動のことである。その活動は学校のカリキュラムに沿ったものから、地域社会で展開するプロジェクトまで幅広い。エージェンシーの醸成という近年の動きとも呼応して、STEAM 教育における近年の動向では、その T に、変革（Transformation）という意味を重ねようという向きである（ST2EAM: Taylor & Taylor, 2017）。つまり、領域横断の知識やスキルを活用して、地域や社会をよりよい方向へと変革する、そのような活動こそが STEAM 教育の根幹を為すという考え方である。

この方向と一致して「文部科学省は、芸術、文化、生活、経済、法律、政治、倫理等を含めた広い範囲で“A”を定義し、各教科等での学習を実社会での問題発見・解決に生かしていくための教科等横断的な学習を推進している」（文部科学省, 2021）。ST2EAM とは異なり、“A”にエージェンシーの特性を求めているが、文部科学省の STEAM 観においても地域変革が重要な要素として想定されていることは変わらない。

本論文では、通常広い意味での科学教育の文脈で取り上げられる STEAM 教育が上述のように実社会での問題発見とその解決に方向づけられていることに鑑み、キャリア教育との接合点を探ることが目的の 1 つである。もう 1 つの目的はキャリア教育としての STEAM 教育を展開していく上でカリキュラムと指導をどのように実践するか、その具体的方法の 1 つとして、探求的な学びの具体的な手法として世界的に広まりつつある概念型探求（Marschall & French, 2018）の可能性について検討することである。

2. キャリア教育における能力的展開

キャリア教育は生徒指導と深い関係を持っており、社会の産業構造が大きく変わりつつある中、就業に困難さを抱える若者を支援するという文脈で産声を上げた。当時は、社会で求められる

その後、様々な産業は高度な専門性を要する職業人を必要とするようになり、それぞれの業種・職種に応じた専門性を培うことが社会として重要になった。その時までは、キャリア教育という用語が使われることはほとんどなく、職業訓練という呼称が一般的であり、現在も同様の取り組みは一定の文脈で必要であり続けている。

本邦においてキャリア教育という用語の認識が公教育の文脈において全国的に位置づけられたのは、2011 年に出された中央教育審議会答申「今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について」（中央教育審議会, 2011）である。折しも、リーマンショックの煽りを受けて、多くの企業ではその人材を放出す

る、あるいは会社自体を倒産させたり、譲渡させたりすることになった。そこで浮かび上がったのが、転職することの困難さや転職後の適応の困難さであった。そこでネックとなったのは、業務に必要な専門性の有無ではなく、どの職業でも共通して必要となる基礎的・汎用的能力であった。すなわち、たとえ専門性を備えていたとしても、どの職業でも共通して求められる汎用的な能力が備わっていなければ就業は難しいということの認識が広まっていった。この答申によって、キャリア教育の概念についてもそれまでの「勤労観、職業観を育てる教育」という端的な捉え方が見直され、社会的・職業的自立のための必要な能力の育成という方向に舵が切られていった。

そしてその後、現行の学習指導要領においてキャリア教育という用語が受容されるようになり、例えば、小学校の「第一章総則 第4:児童の発達の支援、1. 児童の発達を支える指導の充実」においては、「教育課程の編成及び実施に当たっては、次の事項に配慮するものとする」として、「(3) 児童が、学ぶことと自己の将来とのつながりを見通しながら、社会的・職業自立に向けて必要な基盤となる資質・能力を身に付けていくことができるよう、特別活動を要としつつ各教科等の特質に応じて、キャリア教育の充実を図ること」とされている(文部科学省, 2017)。

以上のようなキャリア教育の変遷は時代の要請を考えると自然なことであると考えられるが、社会的・職業自立に向けた資質・能力をどのように育むかという点については、各教科での実践のあり方は教育現場に任されている。このあり方は教育現場の裁量の自由が担保されている面で望ましいことである。しかし、職業的自立を支えるような資質・能力を育むためには、従来型の学力テストから大きく離れ、パフォーマンス評価を中心とした逆向き設計(Wiggins & McTighe, 2005)の考え方に基づいたカリキュラムと指導のあり方へと変わっていくことがその前段階で必要となるはずである。この移行は簡単ではなく、地域の専門家による支援を継続的に受けながら、数年間をかけて授業づくりの方法に関する学び直しが必要であると共に、学校全体のカリキュラムの考え方自体が更新されなければならない。

キャリア教育が抱えるこの大きな課題を乗り越えるために役立つ実践理論の枠組みとして、概念型探求(Marschall & French, 2018)が活用可能であると考

えている。概念型探求による授業単元は以下で詳しく述べていくように、到達した概念的理解を単元の最後で必ず現実問題に当てはめたり、自分たちの地域のアクションに繋げたりする転移段階を設けることになっている。筆者は、この概念型探求のカリキュラムと指導の特徴が地域の課題発見とその解決をその中心に据えるエージェンシー重視の教育実践やSTEAM教育においてその本領を発揮するものと考えている。

そこで本論文ではこの概念型探求の単元設計の方法をMarschall & French (2018)やLanning & Brown (2019)から学び、STEAMを通したキャリア教育に活かす道筋について考察したい。

3. 概念型探求の概要

近年、国際バカロレアの認定校を始め、世界中の学校教育において、H. Lynn Erickson と Lois A. Lanning の提唱する「概念型の課程と指導(Concept-Based Curriculum and Instruction)」(以下CBCI)の考え方と指導法が広がりを見せつつある。このCBCIは、さらに現在、その後継の枠組みである「概念型探究(Concept-Based Inquiry)」(以下CBI)へと発展した。CBIは、Carla Marschall と Rachel French がCBCIの考え方を踏襲しながらも、単元案計画の手順が具体的な教授方略の豊富な選択肢とともに提案し、学習目標としての概念的理解に6段階のステップで到達することを支援するものである。現在、CBIはIB認定校の初等教育プログラム(PYP)や中等教育プログラム(MYP)等を担当する世界中の担当教師によって、採用されている。

CBIはIBのカリキュラムそのものではないが、IBよりもカリキュラムデザインとその中での指導法を中心として枠組みが形作られているため、学校全体のあり方や教育委員会の方向性を変えることなく、学級単位から取り組みを始めることができると、本研究では考えた(ただし、CBIも本来は学校単位で取り組むことが探究のための学習環境作りに最も効果的であることは変わらない)。そこで本研究は、Marschall & French (2018)やLanning & Brown (2019)を中心に文献研究を進め、概念型探究の理論的理解を進めることとした。以下では、CBIの概要を説明した後、それを読解力向上というねらいに活かす考え方を説明する。

CBIの概要 本節では、CBIにおける単元設計の概

要を説明する。以下では、CBIにおける単元設計の手順を一例として示したい。CBIでは、最終的に学習者に到達してほしい学習到達目標を概念的理解というかたちで表現し、その到達のために逆向き設計（Wiggins & McTighe, 2005）で探究的な活動を構成していく。それらの活動を構成する最小の単位が概念である。

概念とは、具体的な対象を一般化して示すカテゴリを指している。例えば、国語科で扱う文章では、個別の筆者が特定の文章として書いた「スイミー」「大造じいさんとガン」「案内の手紙を書こう」等があるが、これらは具体的な事例であると言える。そして、これら具体的な文章事例を「物語文」、「論説文」、「説明文」などとカテゴリー化したものが概念である。また様々な物語文においてある程度共通して、最初の始まりでは、場面設定や登場人物の登場などがあり、物語の中盤では驚きが含まれるようなイベントや問題が起こることが多くあり、そして物語の終盤で、それらに解決がもたらされるという特徴がある。このような様々な具体的な物語に共通した特徴を表現するためには、「はじめ」「なか」「おわり」という展開を区切る概念や「課題」や「解決」といった物語中のイベントを指し示す概念が国語科では導入されている。

概念的理解とは、以上のような概念を複数用いて、学習者が生活の中で活用することができるものとして明文化したものである。概念型理解とは、別の観点から言えば、逆向き設計における「永続的理解」に相当するものであると言える。例えば、上記の概念間の関係で言えば、「物語文ははじめ、なか、おわりで作られていて、はじめには登場人物や場面設定が説明され、なかでは課題が引き起こされ、おわりでは課題が解決される」というように明文化することができる。これが物語文に関する概念的理解の一例である。このように概念間の関係を明確にすることで、学習者このあとの他の物語を読解する時だけではなく、自ら物語を生成する機会においても、過去の学習内容を活かすことが可能になる。なお、概念型探究は、このような概念的理解を教師がまとめるのではなく、「事例研究を通して、学習者自身がまとめる」といった帰納的な学習過程を必須としている。

単元設計手順1：単元名と概念レンズの設定 単元設計の手順としては、最初に、「単元名の設定」、「概念レンズ」を設定する。単元名はそれ自体が学習者を新

しい学びに招き入れる機能をもたせる必要がある。つまり単元名が動機づけや学習者の先行経験を惹起するものである必要がある。

本論文では、小学校2年生の国語において、物語の構成要素を構造的に捉え、自分たちの物語産出に活かす単元を例として以下で図示しながら説明したい。実際に本事業で進めた授業実践ではなく、CBIの授業設計の手順を示すためのモデル単元である。なお、この枠組はMarschall & French（2018）の提案によるものである。下表は本モデル単元「みんなの大好きなお話の秘密」の単元名、教科名、概念レンズ等の基本的な事項を示したものである。概念レンズとは、様々な観点から捉えられる事象について、どのような観点から特にこの単元では理解を含めていこうとするのかを1つないし2つのマクロな概念から特定するものである。IBでは、機能、パターン、秩序、バランス、進歩、進化、変化、同一性、相互作用、成長、システム、特徴といった概念が取り入れられる。

例えば、物語を扱う今回のモデル単元では、その概念レンズを登場人物の感情やそれを伝達する表現手法などに設定することもできるし、登場人物間の関係にも当てることができる。また筆者の人生と作品の関係に当てることができる。様々な切り口がある中で、今回のモデル単元では要素や構造という側面から物語を捉えることをねらっている。

単元名は「みんなの大好きなお話の秘密」、教科名は国語、概念レンズは「要素・構造」、学年は小学校2年生、単元の長さは8時間程度を想定している。

このモデル単元の概要は、次のとおりである：「みんなが好きな物語のひみつって何だろう」という問いのもと、子どもたちは魅力的な物語に共通する特徴を探ります。このユニットでは、まず「スイミー」において、作者がどのように物語を魅力的にしているかを調べます。そして、物語の問題とその解決が、物語を魅力的にするために最も重要な役割を担っていることを発見した後、その発見を一般化するために他の物語を調べます。最後の課題として、物語の構造に関する概念的な理解を、児童自身の物語作成に応用します。その際、物語の要素が効果的に使われているかどうかをチェックリスト等で評価します。

単元設計手順2：構成要素と概念の特定 単元名、教科名、概念レンズ等の基本的な事項が定まった後、「知識とスキルの構成要素」及び「構成要素に含まれ

る概念」をウェビングマップによって探索する。下図の単元ウェブでは、モデル単元「みんなの大好きなお話の秘密」を想定して、4つの構成要素を設定している。Lanning & Brown (2019) は、概念型探求においては読解を中心に据えた単元案は例外なく、テキストの理解、テキストへの応答、テキスト批評、及びテキ

スト産出というステップを踏まなければならないと主張している。本モデル単元もその提言に従って、下図の単元ウェブを構成した。読解以外の学習内容においては、その限りではなく、構成要素も4つ程度を目安にある程度のばらつきがある。

図1 小学校2年生の国語の授業単元ウェブの事例



単元設計手順3：概念的理解の設定 単元ウェブに列挙された概念は、次の設計手順において、一般化可能な概念的理解の主要な部品として活用されることになる。概念的理解を構成する最初のステップは、いくつかの概念をレベル1動詞と呼ばれる、概念間の単純な関係を示す動詞で結びつけることである。レベル1動詞の例としては、“Affects, Impacts, Influence, Is, Are, Have”といった動詞が挙げられる。上記の単元ウェブ構成要素1で言えば、「物語には登場人物、問題、解決などの要素がある」というように概念動詞を単純に結びつけることができる。次のステップは、レベル1動詞をより詳細な関係を示す動詞に置き換えたりすることで、概念間の関係を「なぜどのように」という観点で精緻化する。さきほどの例で言えば、「多くの物語では、登場人物が問題に出会い、それを解決するという展開が採用されている」というように精緻化することができる(レベル2)。最後のステップでは、「だから何なのか」という観点で、さきほど精緻化した概

念間関係をどのように活用することができるのかを明確化する。さきほどの例で言えば、「物語の作者はしばしば登場人物が問題に出会い、それを解決するという展開を採用することによって物語を魅力的なものにする」というように記述することができる。最後の一般化された概念的理解に学習者が到達することで、学習者は自らが物語を書き綴るときにも活用することが可能になる。

なお、上述のプロセスは教師が授業設計を行うときに踏襲すべきものであるが、概念型探求に参加する学習者も同様のプロセスでそれぞれが独自の表現で概念間の関係を一般化することになるが、学習者に一般的に期待されるのはレベル2までである。

単元設計手順4：ガイド質問の設定 次の手順では、学習者が概念的理解に到達することを支援するためのガイド質問を設定する。学習者に理解してほしい「概念的理解」を設定し、複数の事例を学ぶ過程で「本質的な問い」によって生徒の看破を導く点は

CBCI と同じである。

表1は、本モデル単元の中で学習者に到達してほしい概念的理解を左側に、それらの概念的理解を導くためのガイド質問を右側に示している。概念的理解は単元について5～9個、ガイド質問は1つの概念的理解に対して3～5問設定するのが適切であるとされている。ガイド質問それぞれに付与されたアルファベットは、質問の種類を示しており、(C) が概念に関する質問（概念質問、Conceptual Question）、(F) が事実に関する質問（事実質問、Factual Question）、(D) が

論争的な質問である（論争質問、Debatable/Provocative Question）。論争的質問は学習者が現在持つ信念や理解を揺さぶる必要があるときに設定されるが、全ての概念的理解に設定する必要がある訳ではない。それに対して、概念的質問と事実質問はどの概念的理解に対しても必須である。最初に事実に関する理解を深め、次に様々な事例をおしなべて考えたときに看破される概念的理解を促すための概念的質問が用いられる。

表1 概念型理解の設定とそれを導くガイド質問の例

概念的理解：単元に5～9個	ガイド質問：1つの概念的理解ごとに3～5問：(C) 概念、(F) 事実、(D) 論争
1.物語の登場人物の中で、物語の展開の中心的な役割を果たすのが主人公です。	1a.物語にはだれが登場しましたか？(F) 1b.物語の中で最も大事な登場人物は誰ですか？(F) 1c.物語の中で最も大事な登場人物を何と呼びますか？(C) 1d.お話にはどんな種類の登場人物が出てくるでしょうか？(C) 1e.主人公はどうやって見つけられればいいでしょうか？(C)
2.設定は、登場人物がいつ、どこで何をしているかを読み手に教えてください。	2a.物語はどんな場所から始まりましたか？(F) 2b.物語が始まったとき、登場人物はそこで何をしていたのでしょうか？(F) 2c.物語のはじめにはどんなことを話しますか？(F) 2d.物語のはじめには、いつもどんなことが話されますか？(C) 2e.どのお話でもいつも主人公について話されることとはどんな何でしょうか？(C)
3.問題を経験し、それをうまく解決することで、読者は物語に惹きつけられる。	3a.物語の中で何が起こりましたか？(F) 3b.このお話であなたにとって一番びっくりしたのはどの部分ですか？(F) 3c.物語の中で主人公はどんなことに困りましたか？(F) 3d.語り手はどのように話を盛り上げるでしょうか？(C) 3e.もし問題がなかったら、お話はおもしろくなるでしょうか？(D)
4.おもしろいお話では、難易度の高い問題が、思いがけない解決策によって見事に解決されます。	4a.おもしろい物語の中で、主人公はどのような問題にであうでしょうか？(F) 4b.おもしろい物語の中で、問題はどのように解決されるのでしょうか？(F) 4c.おもしろいお話とそうでないお話の違いは何ですか？(C) 4d.おもしろいお話はどうしておもしろいだと思いますか？(C)
5.はじめ、なか、おわりで構成される物語は、内容を効果的に伝えることができます。	5a.このお話を3つに分けるとしたら、どう分けますか？(F) 5b.はじめでは、どんなことが語られていますか？(F) 5c.なかでは、どんなことが語られていますか？(F) 5d.おわりでは、どんなことが語られていますか？(F) 5e.はじめ、なか、おわりには、どんなことが必ず入っているでしょうか？(C)

単元設計手順5：アセスメント計画 本来はここでアセスメントのために、クリティカルコンテンツを知識とスキルの両面から設定し、知識、概念的理解、スキルの3側面においてそれぞれ総括的評価のためのパフォーマンス課題とそれに対応して用意されるア

セスメントツール（ループリック等）を整理する手順が入る。しかし、本論文の目的から鑑みて詳細に過ぎるため、詳細は省略する。

単元設計手順6：授業展開計画 ここでは授業展開にあたるラーニング・エンゲージメント設定の手順に

について説明する。概念型探求は、他の概念型学習の枠組みと比較して、始動、焦点化、研究、体系化、一般化、転移という6つの段階から授業展開を構成する点に独自の特徴がある。

始動段階は、学習者の既有知識と単元内容を関連付け、動機づけを高め、現在生徒が持つ考え方を知るという役割を持つ。動機づけの方略は、意見に基づく方略、体験の方略、議論に基づく方略の3つに大きく分類することができる。この段階は、どの単元を作る際にも必ず必要であり、単元の最初だけではなく、生徒の動機づけが下がったとき等にも随時取り入れることが必要である。この段階で使われるガイド質問は、事実質問、概念的質問、及び論争質問である。

焦点化段階は、単元を構成する重要な概念、すなわち駆動概念について、具体的な事象の区別を含めて理解を確かなものにすることがねらいである。そのためいくつかの概念形成方略が利用される。また概念レンズについてもこの段階で導入される。概念レンズは、様々な教科や領域で繰り返し出現する領域を超えたマクロな概念であるのに対し、駆動概念は領域を超える場合もあるが、領域固有の内容を含むことが一般的である。学習が進むにつれ、生徒は新しい概念を導入するため、概念形成方略は1つの単元で何度も活用される。概念レンズを含めて4つから7つの駆動概念を単元の最初に導入することが推奨されている。この段階で使われるガイド質問は、事実質問と概念的質問である。

研究段階は、事例、実験、調査や経験に基づいて事実を収集することが中心的な活動である。同時に、探

求の中で必要となる汎用のスキル（観察、ノートテイキング、インタビュー、表計算、動画作成、インターネット検索等）と教科に特化したスキル（科学実験の計画、地図のよみ方、絵筆の使い方、楽器の演奏等）を獲得することも期待されている。この段階で取り入れられるガイド質問は事実質問である。

体系化段階では、事実と概念の両方のレベルにおいて思考を体系化し、収集した事実を視覚的手法等によってまとめ、そこから共通したパターンを見出すことがねらいとなっている。この段階で使われるガイド質問は、事実質問と概念的質問である。

一般化段階では、個別の事実から抽象的な概念的理解を引き出すことが主にねらわれている。具体的な事例と概念の間に繋がりを見出し、一般化可能な概念的理解を明示的に言語化し、その妥当性を証明し、他者に伝える活動をおこなう。この段階で使われるガイド質問は概念的質問である。

最後の転移段階のねらいは、一般化された概念的理解の妥当性を検証・証明すること、一般化された概念的理解を新しい事象や場面に適応させること、経験や理解を活用して予想や仮説を立てること、そして学習者自身の学習に基づいて有意義なアクションを起こすこと等である。この段階で使われるガイド質問は、事実質問、概念的質問、及び論争質問である。

表2は、モデル単元におけるラーニング・エンゲージメントの展開例である。なお、左列のKUDフォーカスとは、K：知識、U：理解、D：スキルのそれぞれについてアセスメントの対象となる学習対象の分類を示したものである。

表2 授業展開（ラーニング・エンゲージメント）の設計例

KUD フォーカス	アセスメント方法	学習活動 (s)
K: 語彙の確認	読む前に、スイミーにある不明な単語に印をつける。	<始動段階> # オープニングクエスチョン：なぜ作者はおもしろい物語を作ることができるのか？→既習の物語でおもしろいもの、1つの物語で2つの書かれ方があるものを比較する（適切な物語選択）
UI：物語の登場人物の中で、主人公は物語の展開において中心的な役割を担って	ワークシート：空欄に物語の要素の名前とその意味を記入する。	# 最初の読書に先立つ活動 スイミー」などの一般的なテキストを読みます。読む前に、絵から話の内容を推察するための話し合いをする。また、読み合わせの前に語彙のチェックも行う。

いる。 U2：物語の中で登場人物がいつどこで何をしているかを説明する「設定」は、主人公に問題をもたらす。		# テキスト理解のためのクラス全体ディスカッション 1a.物語に登場する人物は？(F) 1b.物語の中で最も重要な役割を担っているのは誰ですか？(F) 1c.物語の中で最も重要な登場人物をどのように表現しますか？(F) 2a.物語の始まりはどこなのか (F) 2b.物語が始まったとき、彼らはそこで何をしていたのでしょうか？(F) 2c.物語の冒頭で、何が説明されていますか？(F) 質疑応答を通じて、キャラクターや設定などの基本的な概念を理解する。
	画用紙に、スイミーのイラスト、一節の引用を、説明付きて描く。	<焦点化段階> # 好きな場面を共有する 子どもたちは、スイミーのイラストに短い引用を添えて、最も印象的な場面をピックアップする。可能であれば、なぜその場面がなぜ一番好きなのか、その理由も書く。 # ギャラリーウォーク：一面に貼るのではなく、カテゴライズして貼ることで、一般的理解に繋げやすくする。生徒の作品を壁面に展示し、一般的な文章が言葉や絵で人を惹きつける力を持っていることを認識させる。
	他の児童がどんな場면을面白いと思うかデータを収集する。	<研究段階> # どんなところが面白いのかを探る 描かれた絵をもとに、児童は「どうしてこの物語がおもしろいのか？」「人気のある物語の秘密は何だろうか？」という問いに取り組む。その質問に答えるために、児童は、物語のどの部分を選んだのか、なぜそうしたのかを調べるという新しいタスクが紹介されます。生徒たちは、よく選ばれているシーンの数を先生と一緒に数えていきます。 3a.物語の中で何が起こったか？(F) 3b.あなたにとって最も衝撃的なのはどの部分ですか？(F) 3c.物語の中で主人公はどのような悩みを抱えていますか？(F)

	クラス全体のディスカッションを通して人気がある物語の特徴を導き出す。	<体系化段階> # どんなところに惹かれるのかを探る（続く） 教師はクロス表を作成し、生徒が物語の中で最も印象的なシーンとして各パートを選んだ頻度を書き込みます。また、それらの場面の共通点は何か、なぜその場面が印象的なのかを質問する。クラス全員での議論を通じて、物語の中で最も印象的だったのは、<u>問題とその解決に関連する部分である</u>という結論に導く。 3d.語り手はどのように物語を盛り上げるか？(C) 3e.問題がなければ、物語の結末は読者にとっておもしろいものになる？(D)
U3: 問題を経験し、それをうまく解決することで、読者は物語に惹きつけられることができる。	文章完成のためのワークシート#1	<一般化段階> # ミクロな一般化のための文完成 物語がどのように読者を惹きつけるかを一般化するための文章を完成させる。 「物語の中で読み手が一番おもしろいと感じるのは（ ）です」
D: 物語を分解する	ワークシートに、物語の構成要素の空欄を埋めていきます。	<研究段階> # 人気のある物語の要素を探る 最初の物語（スイミー）で見つけた結果は、他の文章にも適用できるのだろうか？この問いに答えるために、生徒たちは自分たちで選んだ他のおもしろい物語を探ります。学校の図書室から2冊の絵本を選び、その物語にどんな要素があるのかを調べます（ブックリスト利用し、読んだものにチェックをする）。
		<体系化段階> # 人気のある物語の要素を探る（続き） 生徒が記入したワークシートは、それぞれの物語に問題と解決の要素があるかどうか、生徒自身がチェックします。 4a.人気のあるお話では、主人公はどのような問題に遭遇するのでしょうか(F) 4b.人気のあるでは、問題はどのように解決されるのでしょうか？(F)

U4：おもしろい物語には、難易度の高い問題が、思いがけない解決策によって見事に解決されることがあります。	文章完成のためのワークシート #2	<一般化段階> # 人気のある物語の要素を探る（続き） 物語がどのように読者を惹きつけるかを一般化するための文章を完成させるよう求められる。 ・面白いお話は（ ）。 4c.人気のあるお話はなぜ魅力的だと思いますか？(C) 4d.人気のあるお話とそれ以外のお話の違いは何ですか？(C)
D：物語構築	書き上げた物語とチェックシート	<転移段階> # 自分の個人的なお話をクラスで話す 児童が授業や家庭で体験したことから、登場人物、設定、問題点、解決策などの物語要素を盛り込み、物語を作る 5a.物語を3つに分けるには？(F) 5b.「はじめ」では、どのようなことが語られていますか？(F) 5c.「なか」では、どんなことが語られていますか？(F) 5d.「おわり」では、どんなことが語られているのでしょうか？(F) 5e.はじめ、なか、おわりには、物語を構成するどのような要素が置かれているか？(C)
U3 & U4	個人的な物語のクラフトレポート（＝学んだことを自分の作品どう使ったかを説明したレポート）	<振り返り> # 個人的な物語のクラフトレポート 個人的な物語について、クラフトレポートを書いてもらいます。授業で習った要素をどのように取り入れて書いたかを口頭などで説明します。

4. STEAM 教育としての概念型探求

上記で解説したモデル事例は飽くまでテキスト読解を中心とした国語に関連した単元である。STEAM 教育としてその内容の面からこの単元を活かすためには、例えばスイミーという物語で言えば、実際の魚の群れの観察と結びつけることができる。そのような関連付けは学習者の興味関心の広がりをもたらし、面では有効であると思われるが、そのアプローチ自体は内容面にとどまっていると言えよう。それに対して、上の物語読解のモデル単元の中心的部分を捉えるのであれば、自分たちの物語を何らかの形で地域や学校の他の潜在的なオーディエンスに発表する機会を設け、その際にオーディエンスから物語の要素や構造の

観点からフィードバックを得るようにデザインすることができる。さらにそのフィードバックを活用して、物語を改善して、再びオーディエンスが物語を読み、フィードバックを学習者に返すとさらに深い学びの循環が成立するだろう。すなわち、概念的理解として学んだ物語を魅力的なものにするための要素や構造の特徴を共通言語として、物語を読み、作り、共有し、改善することを、学習者は物語読解がテーマである単元であっても STEAM 教育の側面である科学、技術、アートといった諸側面に楽しみながら関わることになる。より高学年になれば、オーディエンスからのフィードバックを数量的に収集して作品の改善に役立てるという活動を盛り込むことが可能である。また、

今回はあまり触れられなかったが、挿絵や装丁といった側面も重要である。

以上のように、概念型探求が転移段階を想定した単元設計を常に念頭におくという特性を備えていることで、物語の読解という単元であってもなお、地域社会におけるエージェンシーの醸成という側面を強調した STEAM 教育として学びを、教室を中心に展開することが可能であることを本論文では見てきた。このような学びは社会的・職業自立に向けて必要な基盤となる資質・能力と共通する点が多い。基礎的・汎用的能力の「人間関係形成・社会形成能力」「自己理解・自己管理能力」「課題対応能力」「キャリアプランニング能力」に関連付けて考えたい。なお、キャリアプランニングは小学生段階ではそれほど具体的に扱う必要が特になく考えられるため、本論文では割愛する。

人間関係形成・社会形成能力に関しては、上述のモデル単元に含まれる物語の感想を共有する時間における話し合いのルールから始まり、地域の人々に自分たちが作った物語を共有または発表する際に多くの学びの機会を設定することが可能である。自己理解に関しては、自らの経験を物語として書くことが対応するし、自己管理能力については一定時間の中で作品を完成させることや他者からのフィードバックを得て自分の作品を改善するというプロセスがまさに自己管理的であると言える。課題対応能力に関して言えば、自分たちなにかを作る、それを地域に共有していく、そのような現実的な取り組みには常に課題がつきまとうという特性が学びに貢献する。例えば、ものを作る段階では必要なリソースが足りなかったり、十分でないスキルを補ったりする問題に必ず遭遇するであろう。地域と関わっていくためには、他者の都合やニーズに対応したり、会場の設定や安全性の確保などを求めている中で様々な制約が明らかになっていくはずである。それらに対して時に教師や地域の大人の助けを得ながら活動を展開していくことで、課題対応能力が身についていくと考えられる。

謝辞 本研究は、文部科学省委託事業「学力向上のための基盤づくりに関する調査研究」（愛媛大学、2021-2022 年度）「教科横断プロジェクトを通じた言語能力の育成とその効果検証」及び、基盤研究 C「家庭科教育での概念型カリキュラム開発を目指した教師教育プログラムの構築」（22K02524、代表：竹下浩子、2022-

2024 年度）の支援を受けて実施されたものです。

本論文に関係して、愛媛大学教育学部では、竹下浩子先生、井上昌善先生、藤原一弘先生、藤田昌子先生、上田敏子先生と共に研究会を定期開催し、共に学ばせて頂いていることに深く御礼申し上げます。

引用文献

中央教育審議会（2011）今後の学校におけるキャリア教育・職業教育の在り方について（答申）

Erickson, H. L., Lanning, L. A., & French, R. (2017). Concept-based curriculum and instruction for the thinking classroom. Corwin Press.

OECD (2019) The OECD Learning Compass 2030. <http://www.oecd.org/education/2030-project/teaching-and-learning/learning/>（2023 年 2 月 27 日確認）

Lanning, L. A., & Brown, T. (2019) Concept-Based Literacy Lessons: Designing Learning to Ignite Understanding and Transfer, Grades 4-10. Corwin Press.

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

文部科学省（2021）STEAM 教育等の各教科等横断的な学習の推進

https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/mext_01592.html（2023 年 2 月 27 日確認）

Taylor, E and Taylor, P.C. (2017) Breaking down enlightenment silos: From STEM to ST2EAM education, and beyond. In: Bryan, L. A. and Tobin, K. G., (eds.) *Thirteen Questions: Reframing Education's Conversation: Science*. Peter Lang Publishing, New York, USA, pp. 455-472.

Tomlinson, C. A. (2014) *The Differentiated Classroom: Responding to the Needs of All Learners*. Alexandria: ASCD.（ようこそ、一人ひとりをいかに教室へ C.A.トムリンソン 著；山崎敬人・山元隆春・吉田新一郎訳 2017 北大路書房）

Wiggins, G. P., and McTighe, J. (2005) *Understanding by design*. ASCD.（ウィギンズ, G. P., マクタイ, J. (西岡加名恵 訳) (2012). 理解をもたらすカリキュラム設計：「逆向き設計」の理論と方法 日本標準）

国立青少年教育施設を活用した小学生を対象とした自然体験活動プログラムの開発と実践

Development and implementation of a nature experience activity program for elementary school students using national youth education facilities

○糸野紗依^{*1}, 向 平和^{*2}

KUMENO Sae^{*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】生物多様性を学ぶフィールドとして国立青少年教育施設が活用できる可能性が高いと考えた。そこで、愛媛県にある国立大洲青少年交流の家の活用状況などを調査し、自然体験活動プログラムを開発した。さらに集団宿泊研修に参加する小学校5年生を対象に、その教育効果を「IKR 調査（簡易版）」を用いて、検証した。実践では、植物についての座学や、フィールドでの植物観察、鍋ヶ森で採取した植物で植物標本を作製する予定であったが、天候の急変により、予定していた活動は実施できなかった。検証の結果「生きる力」「非依存」「明朗性」などが高まっていることが判明した。大洲青少年交流の家では「鍋ヶ森こども冒険プログラム」というセルフガイド方式の教材も開発されている。この教材も基本的には野外での活動を想定しており、今後は、このような点も踏まえ、天候に左右されないプログラムの提案や、指導者となる教員の自然体験活動実践力育成を目指していく必要がある。

【キーワード】自然体験活動 野外教育 自然観察 集団宿泊学習

I. はじめに

2015年9月に国連サミットで採択されたSDGs（持続可能な開発目標）の達成に向けて発展途上国のみならず先進国も含めて積極的に取り組まれてきている。そのため、持続可能な地球環境づくりに貢献する生物多様性保全意識の高い市民育成を目指すことは喫緊の課題になっている。生物多様性の保全について学ぶためには、学ぶためのフィールドの選定と指導者の育成が必要不可欠である。

そこで、本研究では国立青少年教育施設（青少年総合センター・青少年交流の家・青少年自然の家）に着目した。青少年の健全育成を図るために全国に28の国立青少年教育施設があり、平成18年に青少年教育3法人が統合して発足した国立青少年教育振興機構が青少年教育指導者の養成及び資質向上、青少年教育に関する調査及び研究、関係機関・団体等との連携促進、青少年教育団体が行う活動に対する助成を行い、我が国の青少年教育を振興している。特に青少年交流の家と青少年自然の家は、自然体験活動を重視している施設が多く、生物多様性を学ぶフィールドとして活用できる可能性が高いと考えた。

○国立大洲青少年交流の家について

昭和49年に全国で11番目に設置され、平成13年

4月から独立行政法人国立青年の家に、平成18年4月からは、「独立行政法人国立青少年教育振興機構 国立大洲青少年交流の家」に移行した。愛媛県南予の「肱川」を中心とした水郷「大洲」が一望できる高台にあり、四季折々の豊かな自然が体験できる施設である。本館、武道・伝統文化館、自然環境館、体育館、宿泊棟の研修施設の他に野外活動施設として、鍋ヶ森、野外炊飯場、カヌー研修センターなどを有する。生物多様性教育の拠点となりうる自然環境館には、実験器具や薬品、顕微鏡などを配備しているエコスタディールームと自然環境関連書籍・化石標本・岩石標本などを配備しているメディアルーム、講義や天体観測に活用できるシアタールームがある。

また、自然体験活動は、様々な教育効果が期待されており、その必要性は2008年に公示された学習指導要領にも示されている。そもそも自然体験活動は、自然環境をフィールドにして行う各種の活動を、指導者が教育目標をもってプログラム化したものの総称である。

自然体験活動はこれまでも、様々な視点から研究が行われており、青少年教育活動研究会(1998)は、自然体験が多い子どもほど道徳観・正義感があることを報告している。また、山本ら(2005)では幼児期におけ

る自然体験活動は運動能力や体力・健康の増進、自然に対する理解、望ましい生活習慣の習得、自己実現や自己主張といった力の向上、集中力、学習能力、学習意欲の習得などと関連性があることを示した。さらに、独立行政法人国立オリンピック記念青少年総合センター(2004)の報告によると、自然体験活動を数多く行った子どもほど、自然体験活動に対して肯定的なイメージをもっており、気になる環境問題の数が多いことが明らかになった。教科教育と自然体験活動との関連性では、小林・雨森ら(1992)は、自然体験が理科教育の基礎となることを示している。

このように、自然体験活動の教育効果や重要性等は言及されているが、別惣ら(2003)によると、今日にあっては、子どもだけでなく教員や教員を目指す学生に豊富な生活体験や自然体験が不足していると指摘する教育関係者も少なくないと指摘している。青少年の野外教育の振興に関する調査研究協力者会議(1996)によると、実際に、教員自身が自然体験の楽しさや喜びを数多く経験していなければ学校が実施する野外教育プログラムにおける自然体験の重要性や教育的意義が理解できず、指導者として子どもたちにその楽しさや喜びを伝授できないと指摘している。さらに、長島ら(2013)は、野外活動プログラムの開発では現地における自然観察をどのように展開すべきなのか、その意義を認めつつも、そのプログラムの開発は十分に行われていないことや、担当する指導者の育成が十分に進められていない現状があるとしている。

2. 研究目的

自然体験活動の必要性は認知されており、小・中学校では集団宿泊学習や自然の家などの活動で自然体験活動が実施されているものの、その有能性を発揮できるような活動が整えられているとは言い難い。また、これらの活動の際に使用される国立青少年教育施設(青少年総合センター・青少年交流の家・青少年自然の家)は、青少年の健全育成を図るために、青少年教育指導者の養成及び資質向上、青少年教育に関する調査及び研究、関係機関・団体等との連携促進、青少年教育団体が行う活動に対する助成を行い、我が国の青少年教育を振興している。特に青少年交流の家と青少年自然の家は、自然体験活動を重視している施設が多く、生物多様性を学ぶフィールドとして活用できる可能性が高いと考えた。

そこで本研究では、愛媛県の小・中学校団体が集団宿泊学習等で利用することの多い、国立大洲青少年交流の家(以下、交流の家)を活用し、施設職員や外部講師ではなく、教員が主として自然体験活動の効果的な指導が可能な自然観察に関する活動プログラムを開発・実践し、その教育効果を検証することを目的とした。

3. 研究方法

本研究では、まず、教材化に向けて、交流の家の立地、施設、周辺環境の現状を把握するための現地調査を2022年4月～8月にかけて実施した。また、学校関係者による交流の家の利用状況の把握や交流の家の自然を活用したプログラムを検討するために、交流の家の関係者及び、愛媛植物研究会の橋越清一氏に聞き取り調査を行った。また、事前調査を基に交流の家で実施する自然体験プログラムを開発した。プログラムの効果を測定するために実践前後には松山市内のF小学校5年生95名を対象にIKR評定用紙(簡易版)を用いたアンケートの実施、分析を行った。

II. 教材化に向けた交流の家の実地調査の結果

交流の家のある、愛媛県大洲市は愛媛県の南予地域に位置している。大洲市は、伊予の小京都と呼ばれており、昔ながらの街並みが残っている。市の中心部には肱川が流れている。肱川は鳥坂峠にその源を発し、幾つもの溪流を合わせながら、山に挟まれた狭窄部を通り同市の長浜町で、伊予灘に注いでいる。途中の支川を含めると流域面積1,210km²、流路延長103kmの愛媛県最大の河川である。人口は40,610人(2022年11月30日現在)となっている。年平均気温は15.9℃で年平均降水量は1700.8mmとなっている。交流の家までは、県内唯一の空港がある県都松山市からJR予讃線や松山自動車道などを用いて40分程度でアクセスができ、交通利便性が高いのが特徴である。また、大洲IC周辺では四国西南地域の玄関口として整備や開発が進められている。

交流の家(写真1)は、大洲市北只に位置しており、施設は大洲市が一望できる高台に立地している。交流の家は、青少年教育振興のための教育拠点として、全年齢期の青少年および青少年関係者を受け入れ、教育的支援を行うとともに、ボランティア活動や就労体験・交流体験を中心とした教育プログラムの企画実施を行う施設である。活動プログラムとしてはカヌー(写真2)やクライミング、オリエンテーリング、野外

炊飯といった屋外活動，座禅やエアロビクスダンスなどの屋内活動，キンボールやボッチャなどのニュースポーツ，うちわ作りや紙漉きといった創作活動など多様に提供されている。学校関係者の利用としては，愛媛県内や近郊の小学校，中学校の集団宿泊研修での利用が多く見られる。集団宿泊研修では主に，カヌーやオリエンテーリング，野外炊飯など1泊2日～2泊3日ほどの行程の中で各学校がねらいや目的に応じて活動を選択して活動を行っている。活動プログラムの中には，自然観察や天体観測など外部指導員を導入しているものもある。また，2020年にはセルフガイドシート形式の「鵜ヶ森こども冒険プログラム」が開発されている。

図1は2017年～2020年のウォークラリー2.4kmコースの利用状況となっており，新型コロナウイルス感染症が発生する2019年度までは主に中学校団体が5月～7月の1学期の期間にかけて多く利用していたが，2020年度以降は利用者が大幅に減少し，9月～12月の2学期での利用が増加したことが明らかとなった。



写真1 国立大洲青少年交流の家の外観



写真2 カヌー活動の様子

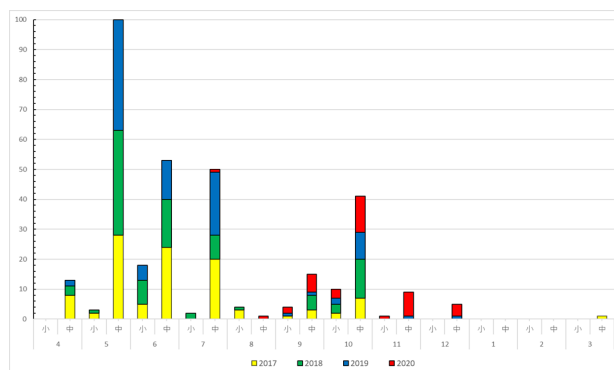


図1 ウォークラリー2.4km コースの利用状況
(2017年～2020年)

愛媛大学教員や教育委員会指導主事と協働で，平成21年度～令和3年度まで2泊3日の免許更新講習を実施してきた。具体的な内容は以下の通りである（実施年により若干の内容および実施順序に変更あり）。

〇1日目

午前

河原で岩石の観察および水生昆虫の採集

午後

「地学分野」【講義】

肱川上流の地質を採集した岩石から推定し，さらに四国の地質について説明する。

「生物分野」【実習・講義】

水生生物の観察・同定を行い，環境指標生物や外来種について説明する

〇2日目

午前

「体験活動の指導法Ⅰ」【実習】

宿泊研修でよく行われる「野外炊飯」の基礎技術を習得する。（安全管理含む）

午後

「子どもたちにおける体験活動の意義」【講義】

体験活動の意義と教育的効果，子どもの体験活動の現状について理解する。

「体験活動の指導法Ⅱ」【実習】

体験活動の意義を踏まえ，学級づくりに役立つ体験活動の指導方法を身に付ける

〇3日目

午前

「カヌー研修指導の実際」【実習】

カヌー研修の教育的効果について理解し，指導方法を習得する。

午後

「学校教育の現状と課題」【講義】

学習指導要領や教育課程に関わる学校教育の現状と課題を理解する。

本免許状更新講習の関係者に確認したところ、募集定員がすぐに埋まり好評を得ていたが、生物多様性を学ぶ活動より、カヌー体験などの自然体験活動の方の利用につながっていたのではないかと指摘していた。

Ⅲ. 自然観察プログラムの開発

自然観察プログラム(以下、本プログラム)は、西依(2010)を参考に構想を行った。西依(2010)では、「生きる力」の定義である問題解決能力(知)、豊かな人間性(徳)、健康と体力(体)と呼応する、①樹木の観察、②話し合い、③読図とウォーキングの3つの柱を設定し、ねらいを明確にしている。西依(2010)は3つの柱の調和した学習が、確かな学力、豊かな人間性や健やかな体を育成し、子どもたちに「生きる力」を身につけていくとしている。そこで本プログラムでは、3つの柱を①植物観察、②対話、③ハイキングに設定した。

本プログラムは、植物について興味・関心をもって探求する活動(観察など)を通して、植物の種類によって、葉や花卉の付き方、繁殖の仕方に違いがあるということに気付く力を養うとともに、それらについての理解を図り、自然を愛護する態度を育てることをねらいとしている。加えて、集団宿泊研修において、仲間とともに植物を観察する直接体験は、子どもたちの五感に訴えることができ、自然の事象や現象に対する関心を持たせ、驚きや感動を育むとともに、子どもたちのもっと知りたい、追求したいという意欲を高めることができると考え、このプログラムを開発した。なお、本プログラム実施の際には、交流の家施設内の「鵪ヶ森」をフィールドに筆者作成のA4両面からなる活動シートを用いた(資料1)。

2. プログラムの内容

a) 植物についての基礎的理解

植物の種類の分類は、中学校理科の第1学年で習得する内容である。しかし、植物観察を行うにあたり、植物は種によって葉や花卉の付き方、生殖の仕方が異なることに気づく手立てとして、プログラムの対象は小学生であったが内容に取り入れた。具体的には、活動シートに植物の分類についての図を示し、その種についての簡単な解説を掲載した。また、今回の活動において、比較的多く見ることができると予想されていた胞子植物(シダ植物・コケ植物)については、ベニシ

ダの胞子のうの写真を掲載するなどして、その特徴をよりわかりやすく捉えられるようにした。

b) ネイチャーゲーム

観察を行う前に、自然の中で五感を使って活動することを通して、自然の美しさや不思議さ、動植物の生態や自然環境に対する興味・関心を深めることを目的に、①ノーズ、②カモフラージュの2つのネイチャーゲームを実施した。①ノーズでは、フィールドで自身のお気に入りの植物を見つけた際にネーミングをする活動を設けていたため、ゲームを通じて物事へのイメージを膨らませられるよう意図して行った。今回のゲームでは、動物の特徴を順番にヒントを出していき、子どもたちは与えられたヒントだけでその動物を当てるというゲームを実施した。②カモフラージュでは、鵪ヶ森の一区画に人工物を紛らせて、自然と擬態させた状態で探し出させることで、五感の中でも視覚を働かせて注意深い観察力を養うことを目的として行った。本活動は、実際にフィールドに出て植物を探す活動をする際に有効的であると考え実施した。

c) 植物観察

フィールドでの植物観察では、「見つけてみよう」という活動を柱として構想を行った。見つけてみようでは、主に3段階に分けて活動を構想した。第1段階では、鵪ヶ森に多く自生し、比較的にすぐに見つけることのできるウラジロを見つけ、ウラジロ飛行機を作製し、飛ばして遊ぶという自然を活用した遊びの活動を取り入れた。初めの場面で、比較的に簡単に見つけられる植物を用いて、自然を活用した遊びを行うことで、自然と触れ合うことのハードルが高くないように工夫を行った。

第2段階では、鵪ヶ森の一区画を指定し、活動シートに提示したサルトリイバラとホラシノブを見つける活動を構想した。これらの植物を選択した理由として、サルトリイバラは茎にトゲがあり、葉の形や葉のツヤなど植物としても特徴的であり、比較的に容易に見つけられると考えたためである。また、サルトリイバラは一部地域において柏餅の葉っぱに用いられているという文化的側面や、サルトリイバラという名前の由来も植物の見た目と結びつきやすく、子どもたちの興味・関心を引くのに十分効果があると感じた。ホラシノブを選定した理由としては、植物の基礎的理解の段階において、シダ植物は似たようなものが多く、見分けるためには胞子や根、茎などを参考にしていると

いう話をした上で、指定した区画にはホラシノブによく似たタチシノブも自生しており、ホラシノブの特徴を写真から捉え、視覚を働かせ注意深く観察する力を養うことができると考えたためである。

第3段階では、鵜ヶ森をハイキングしながら自分自身のお気に入りの植物を見つけ、その植物に名前を付けるという活動を構成した。ネーミングの際には、その植物からどのようなことを五感を通じて感じ取ったのかを考えさせたり、それらを基に、どうしてそのようにネーミングをしたのかを考えたりする場面を設定した。また、自分の見つけた植物や、ネーミングした植物について参加した子どもたち同士で対話する時間を設けることで、新たなものの見方や考え方にふれたり、自分では見つけることの出来なかった植物との出会いがあるのではないかと考えた。また、見つけ、ネーミングした植物について実際に図鑑を使うなどして、本来の名前を知るための追求する活動にも繋がるのではないかと考えた。また、活動シートの最後には、自分たちが採取した植物を保存するための植物標本作製の手順を示した。その際に紹介した手順は、家庭で自分たちでも用意できるものを用いて簡単に行えるものにした。

IV. 活動プログラムの実践

1. 対象者

調査対象には、キャンプに参加していたF小学校5年生95名のうち選択プログラムで「自然観察」を選択していた31名を対象者として選択した。

2. 調査方法

橘，平野(2001)が開発した「生きる力」を測定するための70項目(非依存性，思いやりなどの14指標×5項目)を基に，独立行政法人国立青少年教育振興機構(2007)が，調査の簡便化をはかるために作成した，「IKR 評定用紙(簡易版)」を用いた(図2)(図3)。これは，各下位指標を2項目ずつに厳選し，各項目に対して，「とてもあてはまる」から「まったくあてはまらない」までの6段階の間隔尺度として評定を定めている。調査は，キャンプの事前事後に行い，分析は，調査時期ごとに尺度得点を算出し，得点の推移から活動プログラムの効果を検証した。

小学生用

アンケート (調査)

名前 _____ (男 女)

学年 小学校 (4年生 ・ 5年生 ・ 6年生)

アンケートの考え方

☐ 下の質問(しつもん)をよく読み、自分にあてはまるかどうか、「とてもよくあてはまる」から「まったくあてはまらない」までの6段階(だんかいは)で答えてください。

☐ 自分が、もっともあてはまると思うところに、例(れい)のように○印をつけてください。

☐ 考えすぎると答えられなくなることがあります。あまり考えすぎずにドンドン答えてください。

・アンケートの結果(けっか)と、学校の成績(せいせき)やキャンプの指導(しどう)はまったく関係(かんけい)ありません。

・ひとりひとりのことを調べるのではなく、キャンプに参加(さんか)した子どもたち全体のことを調べています。

・ひとりひとりの結果(けっか)を発表(はっぴょう)したり、他人(たにん)に言(い)ったりすることはありません。

とてもよくあてはまる 6 5 4 3 2 1 まったくあてはまらない

例. 人との約束が守れる

1. いやなことは、いやとはっきり言える	6	5	4	3	2	1
2. 人のために何かをしてあげるのが好きだ	6	5	4	3	2	1
3. 先を見通して、自分で計画が立てられる	6	5	4	3	2	1
4. 著(しやく)や寒(さむ)さに、まけない	6	5	4	3	2	1
5. だれにでも話(わ)しかけることができる	6	5	4	3	2	1
6. 花(はな)や風景(ふうけい)などの美しいものに、感動(かんとく)できる	6	5	4	3	2	1
7. 多くの人に好(この)まれている	6	5	4	3	2	1
8. 人の話(わ)をきちんと聞くことができる	6	5	4	3	2	1
9. 自分のことが大好きである	6	5	4	3	2	1
10. ナイフ・包丁(はちよう)などの刃物(やいばもの)を、上手(じょうず)に使える	6	5	4	3	2	1

図2 IKR 評定用紙 (表)

	とてもよくあてはまる	6	5	4	3	2	1	まったくあてはまらない
11. 自分からすすんで何でもやる	6	5	4	3	2	1		
12. いやがらずに、よく働く	6	5	4	3	2	1		
13. 早寝早起きである	6	5	4	3	2	1		
14. 自分かってな、わがままを言わない	6	5	4	3	2	1		
15. 小さな失敗をおそれない	6	5	4	3	2	1		
16. 人の心の痛みがわかる	6	5	4	3	2	1		
17. 自分で問題点や課題を見つけることができる	6	5	4	3	2	1		
18. とても痛いケガをしても、がまんできる	6	5	4	3	2	1		
19. 失敗しても、立ち直るのがはやい	6	5	4	3	2	1		
20. 季節の変化を感じることができる	6	5	4	3	2	1		
21. だれにでも仲よくできる	6	5	4	3	2	1		
22. その場にふさわしい行動ができる	6	5	4	3	2	1		
23. だれにでも、あいさつができる	6	5	4	3	2	1		
24. 洗濯機がなくても、手で洗濯できる	6	5	4	3	2	1		
25. 前向きに、物事を考えられる	6	5	4	3	2	1		
26. 自分に割り当てられた仕事は、しっかりとやる	6	5	4	3	2	1		
27. からだを動かしても、疲れにくい	6	5	4	3	2	1		
28. お金やモノのむだ使いをしない	6	5	4	3	2	1		

アンケートはこれでおわりです。ありがとうございました。

図3 IKR 評定用紙 (裏)

3. 活動の様子

活動当日は悪天候により、予定していた活動を大幅

に変更してプログラムを実施した。当初の予定では、全ての活動を屋外で行う予定であったが、ネイチャーゲームのカモフラージュのみ屋外で実施し、それ以外は室内での活動となった。初めに、植物についての基礎的な説明を行った。その際に、鴝ヶ森(写真 5)にはどの種類の植物が生息しているのか、どのぐらいの種が生息しているのかをクイズ形式で出題するなどした。クイズ形式を取り入れることで、子どもたちから「全部の種類を見つけてみたい」、「まだだれも見つけてない植物を見つけ出したい」など植物観察への意欲が高まる様子が見られた。また、子どもたちは孢子植物に対してその特徴的な見た目から興味・関心が高く、後述するが、実際に多くの子どもたちが孢子付きのシダ植物を採取していた。

次に、ネイチャーゲームのノーズを行った(写真 6)。このゲームでは、まず子どもたちに自然観察では五感を最大限に使って感じ取ることが大切であるという話をした上で、五感のウォーミングアップをすると称して実施した。問題には、ヘビ・カブトムシ・クジラ・コアラ・ゾウ・ウサギといった様々な種類で特徴的な動物を取り上げた。また、クジラやコアラを出題した際には、捕鯨問題や 2019 年にオーストラリアで発生した大規模の山火事を取り上げるなどして生き物に関する社会問題にもふれることで、生き物の生態以外にも興味・関心を持てるようにした。子どもたちは聴くことに集中しながら自分の持つ知識とイメージをつなぎ合わせ答えを導いているように見えた。また、実践後には自分たちで問題を作り、友人同士で問題を出し合っている子どもの姿も見られた。その次に、カモフラージュを屋外に移動して実施した。カモフラージュでは鴝ヶ森の一区画に人工物を設置し、自然と擬態しているものはいくつあるのか問いかけた。また、このカモフラージュは植物観察をする際の観察力(視覚)を高めるためのウォーミングアップであることを示した。人工物には、木やカエルの置物、緑色のペンといった植物の色と擬態しやすいもの、輪ゴムや麻ひもといった小さなもの、明らかに人工物であることがわかる危険色の置物など計 7 つを設置した。結果としては子どもの正答率はあまり高くはなかった。しかし、予想に反していたのは、子どもたちは擬態している色のものは多く見つけられていたのに対し、輪ゴムや麻ひもといった小さなものを多くの子どもが見落としていた。子どもたちも、カモ

フラージュという活動名に気を取られ、擬態を多く探そうとしていたと言っており、小さなものにまで視線はなかなか行き届かなかったと話していた。そして、移動の際には小雨程度であったため、カモフラージュ終了後は屋外で活動を行おうとしたが、カモフラージュ終了頃から雷雨が激しくなり、落雷の危険も考慮して屋内への活動に切り替えた。

屋内に戻った後は、本来散策する予定であった鴝ヶ森の地図を配布し、地図と活動シートを用いながら、どの付近にどのような植物が自生しているのかを示したり、その際に、活動シートに掲載してあるサルトリイバラに関するクイズであったり、名前の由来を紹介したり、ホラシノブとタチシノブの写真を並べ、どのように見分けるかななどをレクチャーした。また、カモフラージュで屋外に出た際、孢子付きのベニシダを採取していた子どもがいたため、実際の植物を見ながらシダ植物についての知識をさらに深めるきっかけにもなった(写真 5)(写真 6)。

天気急変もあり、大幅に内容を変更して実施したプログラムであったが、「天気がよくなったら植物を探しに行きたい」という声や「明日のウォークラリーでみんなに教えてあげたい」という前向きな言葉が聞かれた。しかし、実施する予定であったフィールドでの活動をしたかったという声は多く上がっていた。



写真 3 鴝ヶ森

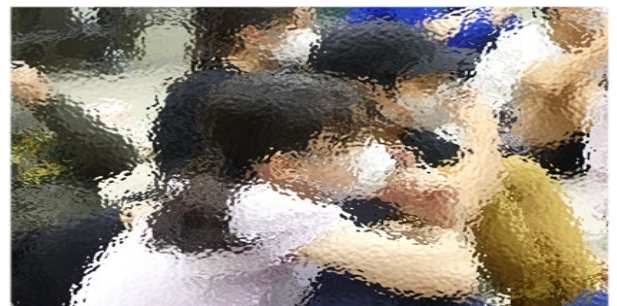


写真 4 ノーズの様子



写真5 子どもが見つけたベニシダ



写真6 シダを見分ける様子

V. 結果と考察

キャンプの事前事後に行った、IKR 調査の結果(表1)によると、全4項目の内、3項目で有意な差がみられた。能力別にみると、「生きる力」において+1.1、「心理的社会的能力」において+0.7、「身体的能力」において+0.2の有意な差が明らかとなった。また、尺度別にみると、全14尺度の内、2尺度で差がみられ、「心理的社会的能力」の7尺度の内2尺度で有意な差があることがわかった。さらに、項目別にみると全28項目のうち13項目で有意な差が見られた。また、有意な差がみられなかったのは「徳育的能力」の内の「自己規制」の1尺度のみであった。

選択活動において自然観察に参加した小学5年生を対象として本プログラムを実践した結果、先に述べたように14尺度のうち、2の尺度「非依存」「明朗性」において、実践の前後で有意な差がみられた。多くの項目で教育効果がみられたことは、本プログラムの有効性を示しているといえる。

ただし、「徳育的能力」の内の「自己規制」については、有意な差がみられなかった。このことは、質問項目(「自分かってな、わがまを言わない」と「お金や

モノのむだ使いをしない」)を高める内容の体験を子どもが活動中にしなかったことが要因と考えられる。今回参加した子どもたちは、学校の友人たちと宿泊とともにする体験を行ったのは初めてであり、今回のこの項目の結果は本プログラムとは直接関係がないといえる。しかし、今回のプログラムは天候の急変により予定していた活動ができておらず、本来であれば、参加者同士での交流や集団での行動、植物を採取したりする活動などを行う予定であったため、本来の活動を実施した場合、結果も変容する可能性がある。

表1 IKR 調査の結果

能力	調査項目	事前調査		事後調査	
		M	SD	M	SD
生きる力		125.8	19.7	126.9	23
心理的社会的能力		61.4	12.3	62.1	13.4
非依存	1. いやなことは、いやとはっきり言える	4.2	1.3	4.3	1
	15. 小さな失敗をおそれない	4.3	1.5	4.5	1.5
積極性	11. 自分からすんで何でもやる	4.5	1.1	4.5	1
	25. 前向きに、物事を考えられる	4.6	1.1	4.3	1.2
明朗性	5. だれにでも話しかけることができる	4.1	1.6	4.2	1.4
	19. 失敗しても、立ち直るのがはやい	4.3	1.1	4.6	1.4
交友・協調	7. 多くの人に好かれている	3.8	1.4	3.5	1.2
	21. だれとでも仲良くできる	4.3	1.5	4.5	1.6
現実行程	9. 自分のことが大好きである	4.1	1.3	4.2	1.5
	23. だれにでも、あいさつができる	5.3	1	5.1	1.1
視野・判断	3. 先を通して、自分で計画が立てられる	4.3	1.1	4.5	1
	17. 自分で問題点や課題を見付けることができる	4.5	1	4.5	1.3
適応行動	8. 人の話をきちんと聞くことができる	4.8	0.9	4.8	1
	22. その場にふさわしい行動ができる	4.4	1	4.7	1
徳育的能力		39.8	4.8	39.8	5.7
自己規制	14. 自分かってな、わがまを言わない	4.9	1.1	4.8	0.7
	28. お金やモノのむだ使いたくない	4.8	1.5	4.7	1.5
自然への関心	6. 花や風景などの美しいものに、感動できる	4.8	1.2	4.9	1.1
	20. 季節の変化を感じることができる	5.4	0.9	5.3	1.1
まじめ勤勉	12. いやがらずに、よく働く	4.7	1	4.9	0.9
	26. 自分に割り当てられた仕事は、しっかりとやる	5.3	0.9	5.3	0.9
思いやり	2. 人のために何かをしてあげるのが好きだ	5	0.9	5	1
	16. 人の心の痛みがわかる	4.9	1	5	1.1
身体的能力		24.7	5.9	24.9	6
日常的行動力	13. 早寝早起きである	3.8	1.7	4.2	1.5
	27. 体を動かしても、疲れにくい	4	1.4	4	1.6
身体的耐性	4. 暑さや寒さに、負けない	4.3	1.4	4.3	1.2
	18. とても痛いケガをしても、がまんできる	4.8	1	4.8	1
野外技能・生活	10. ナイフ・包丁などの刃物を上手に使える	4.2	1.6	4.3	1.7
	24. 洗濯機がなくても、手で洗濯できる	3.4	1.7	3.3	1.6

VI. おわりに

本研究では、交流の家を活用し、施設職員や外部講師ではなく、教員が主として自然体験活動の効果的な指導が可能な自然観察に関する活動プログラムを開発・実践し、その教育効果を検証することを明らかにしようとした。その結果、本研究の成果として、以下の点を述べることができる。

選択活動において自然観察に参加した小学5年生を対象として本プログラムを実践した結果、先に述べた

ように14尺度のうち、2の尺度「非依存」「明朗性」において、実践の前後で有意な差がみられた。多くの項目で教育効果がみられたことは、本プログラムの有効性を示しているといえる。

しかし、本プログラムにおける課題は、天気の関係により屋外で活動が出来なくなった際の対応であるといえる。学校や普段の生活では行えない自然体験活動を実施出来ることが、集団宿泊学習や自然の家の強みであるが、自然を相手にした際、実施できる内容というのは天候で左右されるものがほとんどである。実際に、今回も途中までは屋外での活動を予定していた急な変更であったため、子どもたちが直接自然にふれる機会は少なかった。実際に子どもたちからも、「外に出て活動したかった」という声が多く聞かれた。また、今回の実践では、教員が主として自然体験活動の効果的な指導ができるかどうかについて検証を行うことができなかった。教員の多忙化や教員養成の縮小、教員免許状更新制度の廃止など、ますます教員が自然体験活動及び生物多様性教育を担うことが困難な状況にある。

今後は、このような点も踏まえ、天候に左右されないプログラムの提案や、今回開発したプログラムを教員が主として指導できるように再検討する予定である。もしくは、現状を鑑みて、NPO法人を立ち上げて地域の自然の保全に尽力している「トコロジスト」から学び、裾野を拡げていくことも妥当であるのではないかと考える。そして、指導者となる教員の自然体験活動実践力育成を目指していく必要がある。

文献

- 小林辰至・雨森良子・山田卓三(1992). 理科学習の基礎としての原体験の教育的意義 理科教育学会研究紀要, 33, 53-59.
- 青少年教育活動研究会(1998). 「子どもの体験活動等に関するアンケート調査の実施結果について」 文部科学省.
- 青少年の野外教育の振興に関する調査研究協力者会議(1996). 「青少年の野外教育の充実について(報告)」 文部科学省.
- 独立行政法人国立オリンピック記念青少年総合センター(2004). 日頃の自然体験度と自然学校で得た成果の関係 国立オリンピック記念青少年総合センター研究紀要, 4, 55-66.

長島康雄・小泉祥一(2013). 野外活動を効果的に展開するための教材開発 仙台市科学館研究報告, 22, 33-44.

西依節雄(2010). 野外教育施設における理科教育～活動プログラム開発の方法とその考え方～ 国立青少年教育振興機構研究紀要, 10, 33-45.

別惣淳二・長澤憲保・上西一郎・一山秀樹(2003). 自然体験活動指導者に求められる教員の資質能力に関する調査研究 学校教育学研究, 15, 1-12.

謝辞

本研究は科学研究補助金(課題番号21H00925)の助成を受けて行った。また、本研究に、大洲青少年交流の家の職員の皆様、橋越清一氏にご協力いただいた。ここに記して感謝申し上げます。

(資料 1)

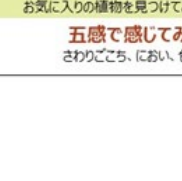
作成した活動シート（表）

見つけてみよう STEP1

鴉片森でみつけれられるかな？



サルトリイバラ




ホラシノブ

見つけてみよう STEP2

この鴉片森には、200種類を超える植物が存在しています。
小さなものから、大きなものまで、みなさんのお気に入りの植物を見つけてみましょう

五感で感じてみよう

さわごころ、におい、色、形・・・

お気に入りの植物に オリジナルの名前を付けよう

名前は・・・

名前の由来

植物の保存方法

～植物標本を作ってみよう～

○準備物
採取した植物・新聞紙・キッチンペーパー
おし板(厚めの段ボールやベニヤ板)・ひも

- ①新聞1枚を半分に切り植物をのせる
- ②新聞5枚を半分に切ったもの(はさみ紙)を2つ作り、
①の新聞をはさみ紙ではさむ
★はさみ紙は約1週間、毎日交かんをして、さらに1週間、3日に1回交かんすること
- ③おし板2枚で②をはさむ
- ④ひもでしっかりと結び固定する
重しをのせるという◎
- ⑤完全に乾燥したら、ラベルを作成する
ラベルには「いつ」「どこで」「だれが」採取したのかを記録しておく

★作製した標本の植物について、図鑑やインターネットを使って調べてみましょう

作成した活動シート（裏）

植物の種類

種子植物って？

種子をつくる植物の総称。
根・茎・葉の3部分の区別があきらかである。

- 被子(ひし)植物
胚珠(種になる前のもの)が子房(めしべ)の下方にふくらんだ部分に包まれている植物
例：サクラ、タンポポ、アブラナ
- 双子葉(そうしやう)類
最初に生えてくる葉っぱの数が2枚の植物
例：アサガオ、ホウセンカ
- 単子葉類
最初に生えてくる葉っぱの数が1枚の植物
例：イネ、ユリ、トウモロコシ
- 合弁花(ごうべんか)類
花びらが1枚1枚はなれている植物
例：コスモス、サクラ
- 離弁花(りべんか)類
花びらが根元でくっついている植物
例：アサガオ、タンポポ、ツツジ
- 裸子(らし)植物
子房がなく、胚珠がむき出しになった植物
例：マツ、イチヨウ、スギ

自然で遊んでみよう！

ウラボシ

胞子(ほうし)植物って？

花が咲かず、種子が出来ない植物。
種子ではなく胞子(ほうし)によって繁殖する
胞子は葉の裏側にある、「胞子のう」という
ふくろに入っている。

胞子のう

ウラボシ 飛行機を飛ばそう！

ウラボシ

自然で遊んでみよう！

ウラボシ

シダ植物

根・茎・葉の区別がある。
葉の付き方や胞子の付き方で
種類を見分ける。

コケ植物

根・茎・葉の区別がない。

① ウラボシを茎からとる

ウラボシ

② 葉の枚数や長さを覚えてみる

ウラボシ

③ 飛ばしてみよう

ウラボシ

④ 飛ばしてみよう

ウラボシ

The Perceptions of Prospective Japanese Science Teachers on Female Students' Participation in STEM Subjects

Marvin ASIEDU^{*1}, Manabu SUMIDA^{*1}

Faculty of Education, Ehime University

Abstract

The researchers identified the important role of teachers/facilitators in holistic development and decision-making in the life of students at schools. This compelled the researchers to investigate and understand the perception of Japanese prospective science teachers about female students' interest and participation in STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) subjects. Therefore, this study aimed to identify and understand the actual baseline situation of Japanese prospective science teachers' perception and impact concerning female students' STEM education participation. A descriptive survey method was adopted for this study. Questionnaires were used as the instrument for data collection. The sample group included 41 Japanese prospective science teachers from various faculties at a national university. The study's findings indicated that the prospective science teachers seem to perceive female students to have low interest in STEM subjects even though their performance is almost the same as that of male students.

Keywords: STEM subjects, prospective Japanese science teachers, perceptions, female students participation, students' interest and performance

INTRODUCTION

STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) education is concerned with teaching students the ability to integrate science and mathematics knowledge with technology and engineering to solve real-life problems in society. A major goal of STEM education has been to produce creative, diverse, and innovative problem solvers that will bring complex knowledge and skills to the evolving workforce (White, 2014; U.S. Department of Education, 2021). STEM education has wide entrepreneurship opportunities. In this era of unemployment in most parts of the world, only STEM education can assure one of a job or a source of income for a comfortable living. Due to this, many developed countries have enforced a high degree of science and technology education to boost their industrialization which has positively affected their economy.

Globally, the number of women in science, technology, and engineering is growing, yet men continue to outnumber women, especially at the upper levels of these professions. In elementary education, all the girls and boys take math and science courses equally. Yet

fewer women than men pursue these majors in high schools and universities. Women's representation in science, technology, and engineering declines further at the graduate level and yet again in the transition to the workplace.

Over time, more females have entered STEM occupations. The percentage of women in STEM has slightly increased. A report by the World Economic Forum's Global Gender Gap Report 2021, indicated in the figure below shows women in selected STEM occupations from 1960 to 2021.

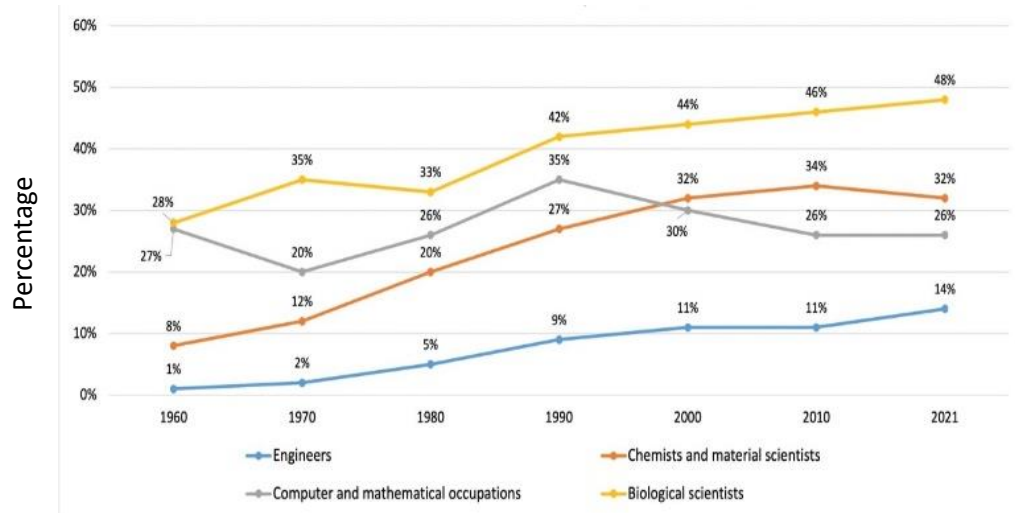


Figure 1. Women in selected STEM occupations from 1960 to 2021

Japan is well qualified to promote scientific advancement. However, the proportion of female professionals in science –including the humanities, social science, and natural science– was only 15.7 % in 2017. A 2021 OECD report– Education at a Glance 2021– estimated that in Japan, women represented only 16% of the STEM field, the lowest share among the OECD countries. The report attributed this exceptionally low rate of women's participation in Japan's STEM fields to “cultural perceptions and gender stereotypes.”

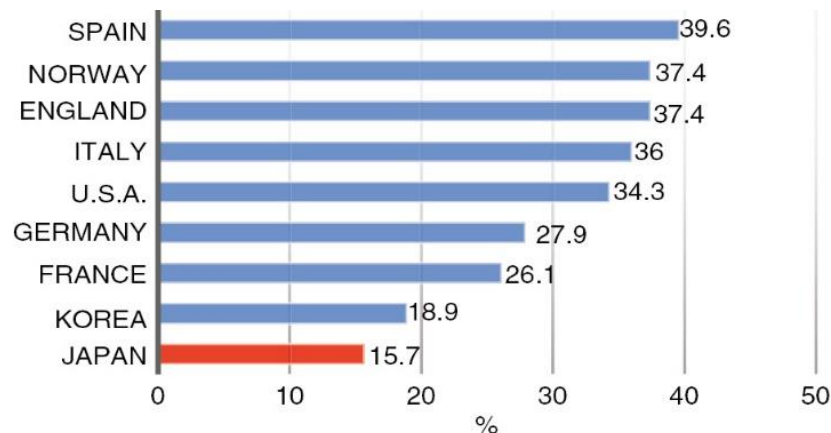


Figure 2. The proportion of female researchers in OECD countries (The Cabinet Office, Gender Equality Bureau, 2017)

In their paper, Sumida and Yumi (2023) indicated that in recent years, the number of female students choosing to pursue science education has increased in Japan. They further stated that even though the figures are increasing, according to OCED 2017, the rate is still far below the international average, and there is concern that the number of women choosing to pursue science education in Japan is low. Further, Shinohara and Fujimoto (2016) argued that women are less likely than men to persist in engineering, even after controlling other factors such as family status and work balance, and stated the need to find other factors for women's engagement in engineering in Japan. This study investigated and reported on the actual baseline perception of prospective Japanese science teachers. The following research questions were used:

1. How do Japanese prospective science teachers perceive the difference in the level of interest between male and female students when it comes to learning STEM subjects?
2. How do Japanese prospective science teachers perceive boys and girls generally perform in STEM subjects?
3. What are the understandings of the Japanese prospective teachers on advancing STEM policy in Japan?
4. What are the thoughts of the Japanese prospective science teachers on whether STEM education is attractive enough for girls in Japan?
5. Which female role model in STEM fields in Japan do the Japanese prospective science teachers know?

RESEARCH METHODS

The study employed a descriptive research survey method. According to Creswell (2014), the descriptive research method is to gather information about the present existing condition. As widely accepted, the descriptive method of research is a fact-finding study that involves adequate and accurate interpretation of findings. Descriptive research describes a certain present condition. Relatively, the method was appropriate to this study since it aimed to investigate and analyze the present perceptions of STEM facilitators about female students' participation in STEM education. The technique that was used under the descriptive method was the normative survey approach and evaluation, which was commonly used to explore opinions according to respondents that could represent a whole population. The survey was appropriate in this study because it enabled the researcher to formulate generalizations. The purpose of employing the descriptive method was to describe the nature of a condition, as it took place during the time of the study, and to explore the causes of a particular condition. The researchers opted to use this kind of research considering the desire to acquire first-hand data from the respondents to formulate rational and sound conclusions and recommendations for the study.

To be statistically significant and have a general inference on the population, it is expedient that the sample size is drawn in such a manner that is a true representation of the population size (Larry V. Hedges & Christopher Rhoads, 2009). This study adopted the simple random sampling technique to select the sample group. It was a simple random (Creswell, 2014) because each member of the population had an equal chance of being selected. After a stipulated time of gathering data, 41 respondents from various faculties namely, Education, Science, Agriculture, and Engineering all in a Japanese national university answered the questionnaire.

A direct-data survey was adopted for this study, specifically, a questionnaire. This was designed using Google forms and distributed to the prospective teachers with a link to answer online. Accordingly, the direct-data survey is used to reveal the status of some phenomenon within an identified class of people, organizations, or regions at a particular time through questionnaires and interviews to directly collect information (Brubaker & Thomas, 2000). The survey was written in Japanese language and consisted mainly of two sections: (1) respondents' profiles and (2) perceptions of female students' participation in STEM Education (see Appendix).

RESULTS

The first section of the data collected shows that 61% of the total sample were male and 39% were female prospective Japanese science teachers. Out of the total respondents, 7 respondents representing 17% were in the Faculty of Education, 22 representing 53.7% were in the Faculty of Science, 10 respondents representing 24.4% were in the Faculty of Agriculture and only 2 representing 5% were in the Faculty of Engineering. Regarding their major programs, 14 respondents majored in Chemistry, 15 majored in Biology, 7 majored in Geology and all other 4 majors namely Math, Physics, Social Studies, and Engineering had only 1 respondent. Also, 1 respondent indicated he doesn't know his major yet. Per the collected data, 39 respondents representing 95% do not have any form of teaching experience and only 2 respondents representing 5% have some teaching experience.

The second section of the results presents the views of the prospective teachers about the difference in the "level of interest" between male and female students when it comes to learning STEM subjects. Twenty-four (24) respondents presenting 59% indicated that male students showed higher interest, two (2) respondents representing 5% argued female students showed higher interest and fifteen (15) representing 36% indicated there was no difference in the level of interest between both genders.

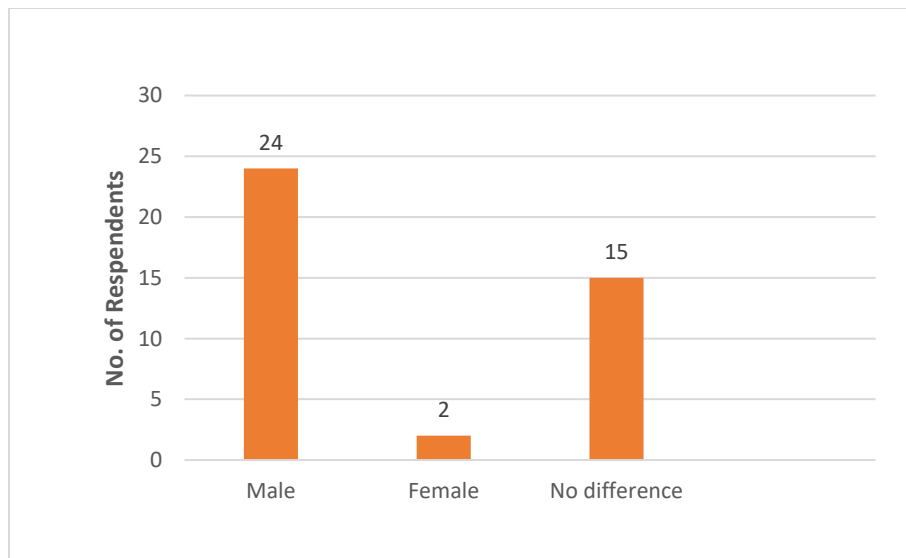


Figure 3. Gender Levels of Interest in STEM Subjects

Concerning the perception of the performance of both male and female students in STEM subjects in Figures 4 and 5 respectively. With regards to male students, 3 respondents viewed them to perform *Low*, 24 respondents thought they perform *Average*, 12 respondents thought they perform *High*, and 2 respondents thought male students perform *Very High*. As shown in figure 5, 8 respondents viewed the female students to perform *Low*, 20 respondents thought they perform *Average*, 12 respondents thought they perform *High*, and only 1 respondent thought female students perform *Very High*. None of the respondents perceived both genders to perform *Very low*. There was any significant difference in the Japanese prospective science teachers' perception of the performance between male and female students.

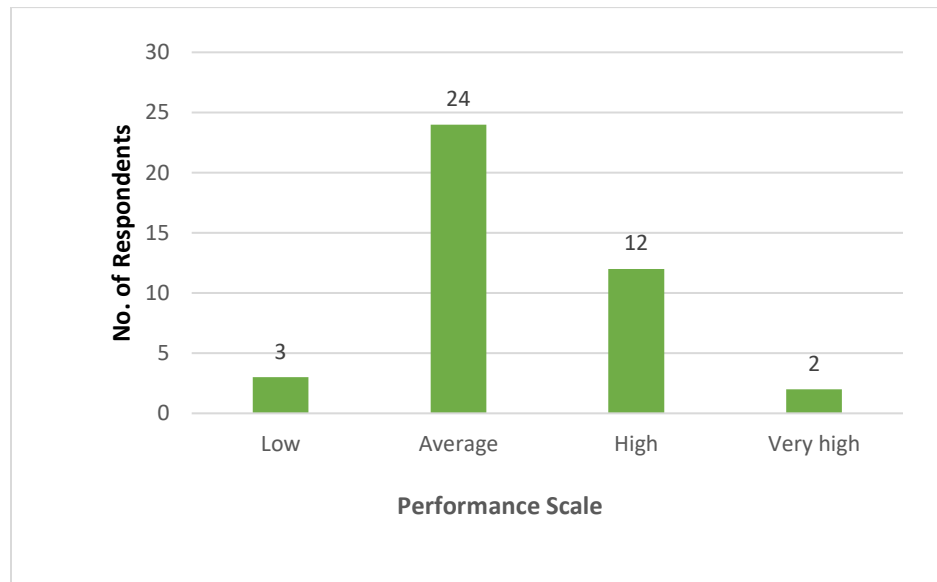


Figure 4. The perception of how male students perform in STEM subjects

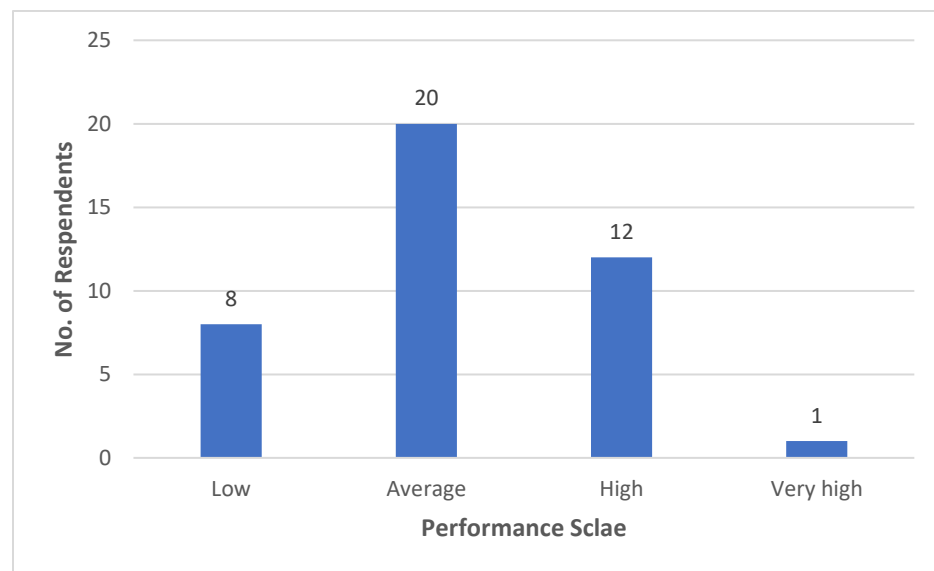


Figure 5. The perception of how female students perform in STEM subjects

On whether the prospective Japanese science teachers know a female role model in the STEM field in Japan, only 2 respondents indicated Yes. One respondent mentioned Dr. Naoko Yamazaki, an astronaut as a female role model in Japanese STEM. Another role model was Dr. Jun Tsuchiya, Associate Professor at Geodynamics Research Center, Ehime University.

In the last part of the questionnaires, the Japanese prospective science teachers commented on their thoughts on the need for the participation of girls in STEM education in Japan. To further understand their thoughts, we categorized the participants' responses based on the similarities of their ideas: STEM education at schools, involvement in the society and industry, gender-equality, STEM literacy for all, and general positive thoughts as shown in table 1.

Table 1. Japanese prospective science teachers' thoughts on the need for participation of girls in STEM education

Categories	Examples of the Responses (translated into English)
STEM Education at Schools	We need a system and teachers who understand the essence of STEM education and can pass on this concept to students. If the structure of STEM education in Japan has been established, it is good to participate. It is necessary to make sure that it does not become just another overseas trend.
	I think getting involved in high school will broaden the range of choices available to them. In fact, I had planned to go into the humanities until I was in high school. After being exposed to chemistry and biology in high school, I decided to go into the sciences. Although the number of female students going into the sciences is smaller than the number of male students, I think it has increased considerably. I think that by setting more precedents, it will be easier for female students to go into the sciences later on.
Involvement in the Society and Industry	It will make it easier for them to be more interested in and contribute to society.
	I think it will lead to the development of science fields because I think men and women have slightly different tastes and thought patterns.
	I think it's good because it will increase women's skills in STEM fields.
Gender-equality	I believe that education should be gender-neutral, so I think it is good for female students to participate.
	I think it is not good to try to make people participate regardless of gender, and I think it is good to have an environment where people can participate if they want to.
	I don't think gender matters when it comes to motivation for study and research, so I think people should learn what they want to do the way they want to do it.
STEM Literacy for All	I think it is good that everyone can learn the field of their choice, so I think they should participate.
	I think it is very good for both men and women to study science and mathematics.
General Positive thoughts	It is important.
	I think they should participate more.
	I think it should be highly recommended.

CONCLUSION

The findings of this study show that the prospective Japanese science teachers in the selected population seem to female students have a low interest in STEM Education compared to male students even though their performance is almost the same as that of male students. The results also show that most prospective science teachers have very little knowledge of STEM educational policies and other STEM-related issues in Japan. Also, very few of these prospective Japanese science teachers know female role models in the STEM fields in Japan. On the other hand, the majority argued that STEM has a positive outcome for females' participation and therefore, they should be encouraged to participate in it.

Japan as a country has many initiatives which make STEM education attractive, with the aspect of enhancing female students' participation, policymakers and education leaders need to put in more effort to make the numbers increase and make Japan become an epitome of emulation to other countries.

Acknowledgment

I am grateful to the respondents for availing themselves during data collection.

Reference

- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Larry V. Hedges & Rhoads. C. (2009). *Statistical Power Analysis in Education Research*. Washington DC: National Center for Special Education Research (NCSE). Retrieved September 27, 2022, from <https://ies.ed.gov/ncser>
- Shinohara, S.K., & Fujimoto, T. (2016). Gender differences in career persistence among research and development (R&D) engineers in Japan. *International Journal of Gender, Science, and Technology*, 8(3), 319-337.
- Sumida, M. & Yumi, Y. (2023). Gender roles during a high school chemistry laboratory experiment and their effect on students' science course selection. *EASE Letters*, 2(1), 33-38.
- Thomas, R. M., & Brubaker, D.L. (2000). *Theses and Dissertation: A guide to planning, research, and writing*. Westport, Connecticut: Bergin and Garvey.
- United Nations (2019). *World Population Prospect 2019*. Retrieved from https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_databooklet.pdf
- U.S. Department of Education (2021). *Science, Technology, Engineering, and Math, Including Computer Science*. Retrieved from <https://www.ed.gov/stem>
- White, D. M. (2014). What is STEM education and why is it important? *Florida Association of Teachers Education Journal*, 1(14), 1-8. Retrieved from <http://www.fate1.org/journals/2014/white.pdf>

Appendix

Questionnaire in Japanese for collecting data

1. 学年
 - a. 2 回生
 - b. 3 回生
 - c. 4 回生
 - d. 大学院
2. 性別
 - a. 男
 - b. 女
 - c. その他
3. 学部等
 - a. 教育学部
 - b. 理学部
 - c. 農学部
 - d. 工学部
4. 最も近い専攻分野
 - a. 物理学
 - b. 化学
 - c. 生物学
 - d. 地学
 - e. 数学
 - f. 工学
5. 教員経験（教育実習は含みません）
 - a. ある
 - b. ない

6. 質問 1. STEM（科学、技術、工学、数学）の学習に関して、男女間で生徒に「興味・関心の高さ」に違いがあると感じますか？※生徒は高校生として考えてください。
 - a. 男子の方が関心が高い
 - b. 女子の方が関心が高い
 - c. 男女間で関心の高さに違いはない
7. 質問 2. STEM 分野の教科における男子生徒及び女子生徒の「成績」は一般的にどの程度だと感じますか？※生徒は高校生として考えてください。
8. 質問 3. 日本の STEM に関する政策についてどの程度知っていますか？
9. 質問 4. 日本で STEM に関する政策を進めることについて、あなたの意見を教えてください。
10. 質問 5. 日本における STEM 分野のロールモデルとなる女性を知っていれば、その名前と分野等を教えてください。複数名思いつく場合は、最大 10 名まで挙げてください。知らない場合は、「なし」と記入してください。
11. 質問 6. 日本において女子生徒が STEM 教育に参加することについて、自分の考えを書いてください。※生徒は高校生として考えてください。
12. 質問 7. 日本において STEM 教育は女子生徒にとって十分に魅力があると思いますか？思う、思わない、自分の考えに近い方を選び、その理由を簡単に書いてください。※生徒は高校生として考えてください。

準正課活動に学生を招き入れる方略 Strategies to Invite Students to Co-curricular Activities

○富田英司^{*1}, 野中陽一郎^{*2}, 三和秀平^{*3}, 坪田康^{*4}

TOMIDA Eiji^{*1}, NONAKA Yoichiro^{*2}, MIWA Shuhei^{*3}, and TSUBOTA Yasushi^{*4}

^{*1}愛媛大学教育学部, ^{*2}高知大学教育学部, ^{*3}信州大学教育学部, ^{*4}京都工芸繊維大学基盤科学系

^{*1}Faculty of Education, Ehime University, ^{*2}Faculty of Education, Kochi University, ^{*3}Faculty of Education, Shinshu University, and ^{*4}Faculty of Arts and Science, Kyoto Institute of Technology

【要約】本研究は、愛媛大学、高知大学、信州大学をフィールドとして共同で進めているプロジェクト「Co-Agencyを育む準正課活動のための教師教育環境と仮想空間」について進捗を報告するものである。このプロジェクトでは、学生主体の地域教育活動への参加を促すためのノウハウ蓄積が成果物として期待されている。本研究では、その初期段階の報告として、各大学で地域教育活動の枠組みとしてどのような取り組みがなされ、特に参加学生をどのように活動に招き入れたかという点に重きを置いて記述した。

【キーワード】 Co-curricular, Co-Agency, Invitation Strategies, Community, College Students

1. 問題と目的

筆者らは、教員養成課程を中心として地域の教育において共同エージェンシーを子どもたちと共に発揮することのできる教育者を育成するために、地域の教育に関係する課題に、準正課の学びの場が中心的役割を果たすと考えている。

しかし、地域と大学を結び、地域の課題を学生と共有しつつ、学生の主体的な活動を支援していくことはほとんどの大学教員にとっても時間と労力を要することである。そのため、多くの場合、そういった教育的取り組みに必要な実践知は、実践の文脈の中に埋もれがちであり、現場のノウハウとしても、研究知見としても社会に共有されにくい。

そこで本研究では、準正課活動を通して学生の共同エージェンシーを育むための知見を残すことを目的としている。中でも本研究では、参加学生を活動に招き入れるめの方略について、得られた知見を事例として報告したい。招き入れるという表現は、吉田・岩瀬(2019)が Tomlinson (2002) のエッセイにおける invitation をそのように翻訳していることに由来している。吉田・岩瀬(2019)は、学びへの招き入れが成功する要因を次のようにまとめている：①自己肯定できること、②貢献できること、③目的／ねらいがはっきりしていること、④意味のあることを自分でできること、⑤いい学びの環境／雰囲気があること、⑥教師の教え方のスタイルが、生徒の学び方のスタイルにマッチしていること、⑦チャレンジできること。これら

の要素は本論文がテーマとする準正課の学びに含まれていることから、本論文でも招き入れるという表現を採用した。

2. 愛媛大学での取り組み

(1) 取り組みの全体像

令和4年度、準正課活動として第一筆者の研究室で主に取り組まれた遊びと学びの機会としては、主には以下の通りである。

- ・ 愛大マイクラ
 - オンライン版愛大マイクラ
 - リアル版愛大マイクラ
 - 愛大マイクラ公開版
- ・ 愛媛大学放課後学習教室
 - レッドストーン教室
 - プラごみ激減プロジェクト

愛大マイクラは、マツダ財団の研究助成を受け、2021年4月に開始した放課後活動支援事業である。この取り組みの主なねらいは社会的隔離が必要な状況においても青少年の健全育成に最低限必要な社会的交流の機会を確保すると同時に、ポストコロナにおいて現実の交流に移行できるような、地域社会と連携した居場所を確立することであった(富田, 2021)。そのような背景から、当初はオンラインでの開催のみでスタートした。その後、令和4年度になってから新型コロナウイルスによる社会活動の抑制が緩和されたことを受けて、対面会場において JAVA 版 Minecraft で遊ぶ「リ

アル版愛大マイクラ」を2022年11月5日、12月10日、2022年1月15日の計3回にわたって砥部町麻生児童館にて開催した。また、学生ボランティアをより広く募るために、地域の児童も参加するかたちで「愛大マイクラ公開版」を愛媛大学内の対面会場において2023年2月15日及び16日の2日間にわたって開催した。

愛媛大学放課後学習教室は、愛媛大学が教員志望学生に提供する教育実習「地域連携実習」の1つである。学生主導の企画・運営によって進めることを特徴としており、2018年より学習機会を地域児童に提供してきた（富田・大石・市本・中山, 2019）。今回取り上げたのは、2022年度に開催されたレッドストーン教室とプラごみ激減プロジェクトである。レッドストーン教室は、愛大マイクラと同様にオンライン環境で実施され、Minecraft の電子回路機能であるレッドストーンを使って、回路の基本を学び、児童がそれを用いて好きな仕組みを作成した（富田・玉井・河村・坪田, 2022）。

第一筆者は、これまでのところ次節のような方法で学生参加者を募ってきた。

（2）招き入れ方略の展開事例

愛大マイクラでは令和4年度になって定期的に活動に参加できる学生の数が減っており、平日毎日開催することをねらいながらも、週のうち1から2日は開催できない期間が長く続いた。そこで、令和5年2月15日（火）及び16日（水）午後4時から6時に愛大マイクラ公開版を学内会場において開催し、地域連携実習として教職課程の学生にウェブシステムや掲示板を通して周知したり、担当する授業で活動について紹介することに加えて、全ての学生が修学支援システムにログインした際に表示される掲示板に周知した。その結果、周知して一週間で8名の応募があり、すでに愛大マイクラで活発に参加している学生2名のほか、教育学部以外の学生に関心を持ってもらうことができた。同様に対面イベントである「リアル版愛大マイクラ」でも、周知後すぐに様々な学部から9名の応募があった。このうち通常版愛大マイクラに参加している学生は3名であった。

しかし、これら2つの対面イベントに参加した学生のうち、リモートの愛大マイクラに参加する学生は現時点で一人もいない。この背景には、実際に参加してみることによってMinecraftで子どもたちと遊ぶこと

にそれほど面白さややりがいを感じられなかったという可能性のほか、夕方という時間帯が学生にとってアルバイトの時間でもあるということなどが要因として考えられる。このことは推論の域を出ないため、今後事後アンケートなどによって根拠を求めていく必要がある。

放課後学習教室は、現在ゼミ内での運営が中心となっている。新型コロナの感染が拡大する以前は、キャンパス内で対面授業を学生が企画し、ゼミを超えて様々なグループが自発的に授業を企画していた。しかし、新型コロナの流行によって、活動を大幅縮小せざるを得なかったことから、学生による企画の募集自体ができていなかった。

また、レッドストーン教室についてはMinecraftというゲーム自体の知識とスキル、そして回路に関する理解や興味が求められるということもあり、地域連携実習に参加する学生全員に向けたガイダンスにおいて周知したところ、新しい参加者は一人も得ることができなかった。

（3）次年度に向けた取り組み

愛大マイクラは活動が平日毎日であることから、十分に学生ボランティアを確保できなかった日も多く見られた。そのため、愛大マイクラ公開版の開催を通して新たに参加した他学部のボランティア学生と効果的にコミュニケーションを取りながら、安定した運営を進めていくことが重要である。しかし、ただ対面イベントを開催するだけでは、前節で紹介したように学生の応募は見込めないかもしれない。令和4年度の実践では、ただ子どもと大学生が同じ会場に集まるだけであった。そこで、子どもたちとどう交流するか初参加の大学生に向けてデモンストレーションしたり、子どもの遊びに対して大学生を招き入れたりする足場づくりが提供することで、参加学生の動機づけが高まるのではないかと推測される。

愛媛大学放課後学習については、コロナ前のような積極的な企画呼び込みの活動を再開することで、より効果的な呼び込みが可能になるものと考えている。新学期的地域連携実習参加希望者のための事前指導では短時間しか周知に活用できないため、放課後学習単独で説明会を学部において開催するのが適切であると考えている。

また、正課との有機的な接合という観点では、教育

学部が2回生以上に向けて開講している教職教養課題特講という科目において、学生の自発的な実践プロジェクトの省察を支援するためにリアリスティックアプローチの諸技法（コルトハーヘン，2010）を演習を通して学ぶ予定である。以下、授業概要を紹介する。

この科目では、受講生が一生涯にわたって教育の実践を改善するための基本的な方法と最新の様々なトピックについて事例を通して学びます。すでに地域連携実習やサークル、地域のNPO、ゼミ等で継続的に関与しているプロジェクトに参加されている方は、それらについてこの授業で実践を共有し、課題を発見、解決のための手立てを考案し、その結果をさらに振り返ります。その一連の取り組みを通して、自らの個人的な理論を構成します。そのようなプロジェクトをお持ちでない受講生ももちろん歓迎で、上のような取り組みを共有することを通して、これからの実践に活かしてもらうことができます。

このような正課の科目を通して、学生主体の活動を広く学生間に共有していく取り組みを通して、エージェンシー育成を促進することを令和5年度は狙っている。他方、卒業論文等で実践研究に取り組む学生にとって、様々な機会が提供されたとしてもその中で選択することそのものが難しいという状況も研究室内で遭遇している。そこで役立つと考えられるのが、選択肢とそれぞれのメリット・デメリットを明確化した表1である。

表1 実践研究におけるメリット・デメリット

選択肢	メリット	デメリット
自ら活動を立ち上げる	実践内容に大きくコミットできる、データ収集が容易	企画・運営の全てに渡って検討が必要
研究室の既存の実践に参加する	データを取りやすい、様々なコーディネートが容易	実践内容には、獲得予算の性質によって制約がある
研究室外の既存の実践に参加する	コーディネートの必要がない	実践内容に関与できない、データ収集に制限がある、当事者意識を持ちにくい

表1のような取り組みも、公開版愛大マイクラでの個別のサポートについても、共通しているのは初めて参加する学生への足場作りの提供である。この点を令

和5年度については重視していきたいと考えている。

3. 高知大学での取り組み

（1）取り組みの全体像

令和4年度、準正課活動として第二筆者の研究室で主に取り組まれた学びと活動の機会としては以下の通りである。

- 公立中学校における学生主体の活動
 - 学びSTATION（数学教室）
 - あそ部（運動プロジェクト）
 - Let's Enjoy English（英語プロジェクト）
- 科学教室（実験会の企画実施）
 - 児童生徒に対する科学の面白さを認識させる実験会の企画実施
- 言葉と数の教室（附属小学校での正課外活動）
 - 小学1年生に対する放課後の1対1の学習支援
- 和サークル（サークルの設立と実践）
 - 不登校傾向の児童生徒に対する居場所づくり
- 授業観察（附属小学校での正課内活動）
 - 道徳科およびその他の学級経営に附随する事項の参観

公立中学校における学生主体の活動は、公立中学校学校長に対して、自身の専門性を踏まえ中学生に実施したい内容のプレゼンを行う。承諾が出た場合は、参加生徒を募集し活動を展開するものであった。令和4年度は、3つの内容が展開された。学びSTATION（数学教室）は、6月8日から3月8日まで週に1回の頻度で計29回実施された。あそ部（運動プロジェクト）は、活動期間は、6月29日から7月13日、11月2日から1月27日までの2つの区分があり、前半の区分は放課後の時間、後半の区分は朝の時間を活用し計8回実施された。Let's Enjoy English（英語プロジェクト）は、11月2日から2月1日まで週に1回の頻度で計9回実施された。なお、あそ部（運動プロジェクト）に関する取り組みの研究成果の一部は、野中（印刷中）で報告予定である。

科学教室（実験会の企画実施）は、児童生徒に対して、科学の面白さを認識させる実験会の企画実施を目指すものであった。しかし、「実験会」での内容や実験技術を磨くという代表学生と他学生との乖離、科学の祭典の中止に伴い、大学生同士が集まり実験技術を磨

くことを8回実施し、企画の話し合いや今後の話し合いをすることに終止した。

言葉と数の教室（附属小学校での正課外活動）は、附属小学校に所属する小学1年生に対する放課後の1対1の学習支援に大学生が従事するものであった。企画・運営は、第二筆者が主導したが、14名の大学生が参加した。事前指導や振り返りの会を除き、6月8日から2月3日まで（長期期間休み等を除く）各自の都合に合わせて週1・2回活動を実施した。なお、当該活動については、高知大学令和4年度教育研究活性化事業（教育改善・修学支援）の支援を受けた。

和サークル（サークルの設立と実践）は、不登校傾向の児童生徒に対する居場所づくりを目的とし、第二筆者のゼミ生が卒業論文として実施したものであった。「和サークル」としての居場所のプレオープンは、10月12日から12月21日までの隔週で計6回実施した。その後、1月からも学生の都合を踏まえつつ隔週で実施している。なお、当該活動は、門田（2022a）により、2022年10月24日付で高知新聞社が運営する子育て応援ウェブメディア「ココハレ」に「大学生と一緒に学び、遊びませんか？不登校の小中学生の居場所「和サークル」が高知市で始まりました」という記事が掲載された。その後、子育て応援ウェブメディア「ココハレ」のおすすめコンテンツを紹介する「ココハレピックアップ」として、門田（2022a）により、2022年11月8日付で高知新聞に「不登校の子に居場所」という内容でも掲載された。

授業観察（附属小学校での正課内活動）は、大学生が附属小学校の単一学級における道徳科およびその他の学級経営に附随する事項を参観するものであった。企画・運営は、第二筆者が主導したが、4名の大学生が参加した。6月6日から7月11日、11月8日から1月31日までの2つの区分があり、前半の区分は計4回、後半の区分は週に2回程度計16回実施された。なお、前半の取り組みの研究成果の一部は、野中（2022）で報告された。当該活動については、高知大学令和4年度高知大学教育学部長裁量経費の支援を受けた。

第二筆者は、これまでのところ以下のような方法で学生参加者を募ってきた。また、学生（特にゼミ生）からの希望を受ける形で対応してきた。

（2）招き入れ方略の展開事例

公立中学校における学生主体の企画・実施、科学教室（実験会の企画実施）の2つは、2021年度の2学期に高知大学で開講された全学教職科目（教育心理学概論C：教育学部を除く学部の主に1年生が受講）、学部必修科目（教育の方法・技術：教育学部の主に2年生あるいは3年生時点の学生が受講）の最終回の場合を活用し募集を行った。具体的には、リアクションペーパー（授業の最後に記述を求めるもの）に教師としての専門性を高めるための活動の紹介をし、興味があり説明を聴きたい者は、別途連絡をするため回答するように求めた。興味があり説明を聴きたい者は、約50名いた。しかし、別途連絡後に返信がなされた者は、17名であった。このことは、時間を置くことや説明会の日程が不明確なことにより大学生側に負担が生じた可能性がある。また、学生自身が企画を立案することへのハードルが高い可能性も示唆された。

17名に対しては、学生側の都合を踏まえオンライン同期型での説明等を実施した。その結果、自分自身の専門性の成長や児童生徒とのかかわりを求め参画を希望する学生を見出した。それぞれが代表学生となり、第二筆者と企画の趣旨や準備についての検討を行った。なお、あそ部（運動プロジェクト）とLet's Enjoy English（英語プロジェクト）の2つは、代表学生がペアを組み活動を展開できる友人を誘い、活動を展開した。あそ部（運動プロジェクト）は、同一コース所属の同じ専門性（代表学生はスポーツ心理学のゼミ、参加大学生は公衆衛生学のゼミ）を有する者同士であり、種目は異なるがそれぞれが運動部に所属していた。Let's Enjoy English（英語プロジェクト）は、代表学生は教育学のゼミ所属であるが中高の英語の免許取得を目指し中学校教諭希望であり、参加大学生は英語教育コースの学生であった。学びSTATION（数学教室）は、代表学生が同一コース所属の同じ専門性（代表学生は数学指導法のゼミ、参加大学生は内容学の中でも代数学のゼミ）を有し共に活動を展開できる学生を見出した。ただ、別途参加大学生を求めたため、言葉と数の教室（附属小学校での正課外活動）の説明会の場を利用し、参加学生を更に募った。一方、科学教室（実験会の企画実施）の代表者は自分で参加大学生を見出すことが出来ず、ニーズの近い学生の紹介や2022年1学期の初回の授業を活用して参加大学生を募集した。こうしたプロセスに鑑み、代表学生は主体的に1人ではなく信頼出来、一緒に活動を創れる仲間

を呼び込む傾向があることが示唆された。単独の大学生ではなく、関係性を構築している学生、専門性の類似している学生と一緒に活動に参画できるような招き入れの工夫も必要となる。一方、仲間を安易に教員側がマッチングすることは、「科学教室(実験会の企画実施)」の停滞が物語るように留意しなければならない。

言葉と数の教室(附属小学校での正課外活動)は、2022年度の教育学部1年生、2年生、3年生の必須科目の初回場を活用し募集を行った。具体的には、趣旨や内容を記載したチラシを作成し、興味関心がある者は、チラシ内のQRコードからFormsへの回答を行い、4月27日(水)の説明会に参加するよう求めた。Formsへの回答した場合は、説明会に参加できない場合に資料等を送付することとした。なお、このチラシは、学びSTATION(数学教室)の趣旨や内容も交えたものであった。その結果、38名が興味関心を持っていた。内訳は、1年生23名、2年生11名、3年生4名であった。また、21名が言葉と数の教室のみに興味関心、9名が両方の活動に興味関心、8名が学びSTATION(数学教室)のみに興味関心を抱いていた。学年毎の人数の変容は、学年が上がるにつれて自身のコミュニティや活動内容が焦点化していくことを物語っており、初年次段階での招き入れが重要である。なお、説明会等を経て、言葉と数の教室(附属小学校での正課外活動)には14名の学生(1年生8名、2年生2名、3年生4名)が参加意思を示し、学びSTATION(数学教室)には3名の学生が新たに参加意思を示した。

和サークル(サークルの設立と実践)は、第二筆者のゼミ生がボランティア団体を立ち上げ、人員を確保する必要性を見出したことと関係する(ボランティア団体の設立までは当該ゼミ生が1名でNPO法人等の視察等は実施していた)。2022年1月、居場所づくり実践の協力者という位置づけとし、居場所づくりを行う団体「和サークル」の人員を募集した。募集方法は、機縁法により実施した。募集の流れは、当該ゼミ生と同大学の教育学部の下級生の「LINEグループ」で案内を実施した。学部を限定したのは、子どもを対象にした活動に興味関心が高く、子どもや教育について専門的に学んでいる学生が所属しているためであった。募集の際、活動に興味のある学生は当該ゼミ生に連絡するよう伝え、その結果、学生12名より連絡があつ

た。説明会では、資料を配付し、活動の企画趣旨や活動内容についての説明を行い、活動に参加したいと思った学生は後日連絡をするよう伝えた。その結果、「和サークル」に加入したのは6名(4年生1名、3年生4名、2年生1名)であった。なお、この6名の中3名は、同一ゼミ生であった。現在は3年生が団体を立ち上げた者より代表を引継ぎ、メンバーと協働して支援活動を実施している。人員の募集は随時行っているが、学生の人数は増加していない。「和サークル」の活動に参加する学生の募集は重要である。「和サークル」の人員数名の大学卒業により、今後人手不足が懸念されるためである。

授業観察(附属小学校での正課内活動)は、本研究の筆者がゼミ指導教員を担当する2名の学生より、5月中旬に実際の授業や授業中の児童の様子を「対面で実際に観察したい」という強い要望が第二筆者に伝えられたことに起因する。第二筆者は、授業研究の専門性や附属学校との関係性を有していたことが関係し、招き入れというよりは、学生のニーズと専門性がマッチングしたことが関係している。授業を実際に観察したいというニーズに寄り添うことは重要である。しかし、豊潤な授業という営みをどういう視点で捉えることが出来、意味づけや省察する場を設けること、理論との関連付けを行うことが第二筆者に求められる。

(3) 次年度に向けた取り組み

「公立中学校における学生主体の企画・実施」は、公立中学生を対象にするという趣旨に沿うこと、学生自身の専門性を活かした展開の両輪が必須となる。現在、学びSTATION(数学教室)の継続、Let's Enjoy English(英語プロジェクト)の時期を含めた継続の検討がなされている。また、音楽教育コースの学生が、本プロジェクトに興味関心を抱き、次年度の実施に向けて活動準備を検討している。参加学生の正課との負担面を考慮しつつ、活動回数や専門性を有するコースの教員との協働体制を構築する必要もあるだろう。

言葉と数の教室(附属小学校での正課外活動)は、活動自体の教材準備や実際の児童に対する支援活動、そして実践報告の作成と活動自体は豊潤であるが、企画・運営自体の役割が無いため学生にとってハードルが低い可能性がある。実際、言葉と数の教室(附属小学校での正課外活動)は、1年生の学生同士の口コミが広がり、次年度参加希望者の声もあがった。無論、

継続出来ない学生もいるが、令和4年度に積極的に参加した学生を中心にサークル化し、企画・運営面を徐々に教員側から大学生側に移行していく段取りを検討する必要がある。特に振り返りの会の企画・運営、実践報告書の対するフィードバック等は、学生同士が相互に実施することで協働的な学びを喚起する可能性もある。次年度も4月時点で1年生を中心に募集をかけ参加大学生間で協働体制が出来る仕掛けを展開したい。

和サークルと授業観察(附属小学校での正課内活動)は、第二筆者は所属するコースやゼミでの専門性を活かした正課内教育との有機的な連動を考案する必要があるだろう。特に重要なのは、省察の場とクリティカルフレンドの存在である。クリティカルフレンドは、実践と研究を批判的に振り返るため上で必要な存在とされ(例えば、Schuck & Russell, 2005)、自分自身の実践や研究の共有や発展に寄与するものである。このように第二筆者自身の所属コースやセミナーの特性を踏まえ、省察の場やクリティカルフレンドを整え、学生主体の活動を促進することを令和5年度はねらっている。

4. 信州大学での取り組み

(1) 取り組みの全体像

令和4年度、第三筆者の研究室で主に取り組まれた遊びと学びの機会としては以下の通りである。

- ・ 教師主体の哲学対話の取り組み
 - 「どうして勉強するのか？」という問いについて考える哲学対話
- ・ 学生主体のマイクラ対話の取り組み
 - 信大マイクラ対話

教師主体の哲学対話の取り組みは、博報堂教育財団第16回「児童教育実践についての研究助成」を受けて、令和3年4月から動き始めた。哲学対話とは、Lipmanが子どもたちの思考力を養うために始めたと言われる「子どものための哲学(P4C: Philosophy for children)」に由来するものであり(例えば、Lipman, 2003)、「幸せとはなにか？」などの哲学的な問いについて対話を通して考えるものである。より良い対話の実現に向け月に1回程度の勉強会を行いつつ、定期的に大学生や子どもたちと一緒に哲学対話を実施している。助成を受けた研究のテーマは「小学生の英語学習への価値理解および動機づけの向上を目指した哲

学対話の実践」であり、第三著者が中心となり、4名の研究協力者の教員(英語教育コース2名、社会科教育コース1名、他大学1名)および6名の学生(令和4年度からは1名が抜け5名の学生)とともに取り組んだ。参加した学生は、時間を拘束する作業を行う際にはアルバイトとして雇用をした。基本的には第三著者が主体で進め、打ち合わせの日程調整、打ち合わせの司会進行、対話の実施の段取りなどは全て教員側で決定して行った。なお、この取り組みの研究成果は三和・青山・解良・山本(2022)などで報告されている。

学生主体のマイクラ対話の取り組みは、上記の哲学対話の取り組みをMinecraftのゲーム上で行うという試みであり、令和4年10月から動き始めた。Minecraftで哲学対話をするという大枠は教員が決めたものの、活動における目的や対象の選定、打ち合わせ日程の調整、打ち合わせの司会進行、対話の実施の段取りなどは学生が主体となって進めている。活動には3名の研究協力者の教員(英語教育コース、社会科教育コース、ものづくり技術教育コース)がかかわっている。こちらの研究の一部は三和・松島・山本・青山・小倉(2022)などで報告されている。

(2) 招き入れ方略の展開事例

教師主体の哲学対話の取り組みは、令和3年1月ごろに実施された「道德教育の基礎と実践」「現代教育概論」「心理学統計法」「学習・言語心理学」の授業終了後にアナウンスして募集を行った。「道德教育の基礎と実践」は、100名を超える受講者がおり、教育学部のようなコースの学生が受講している授業である。その他の授業は、第三著者が主にかかわっているコースの学生が受講する授業である。募集の際には、授業用のwebサイトにpdfのチラシおよびgoogle formsのリンクを掲載するとともに、概要について口頭で説明をした。また、同大学に所属している研究協力者のゼミに所属する学生にも別途声をかけるように依頼した。令和2年3月にzoomを用いたオンライン説明会を開催したところ、3名の参加があった。説明会では取り組みの説明と質疑応答を行った。加えて、指定した時間に参加出来ないが、興味がある学生が3名いたため、説明会の様子を録画し、動画として共有した。そして、最終的に6名(ともに3年生)の学生が活動に参加することとなった。所属しているコースの内訳は、現代教育コース1名、心理支援コース3名、英語

教育コース2名であった。第三著者は現代教育コースに所属し、心理支援コースの授業も担当しているため、これらのコースの学生が参加しやすかったと考えられる。また、研究協力者の中に英語教育コースの教員が2名おり、英語教育コースの学生は教員から紹介を受けて参加をしていた。関わりの深い教員からの誘いであったことから、参加のハードルが低かったと予想される。「道德教育の基礎と実践」の講義では、第三著者の所属以外の学生も多数受講する授業であったが、そこからの参加希望者はいなかった。第三著者は令和2年度のコロナ禍に着任したばかりかつ、オンラインでの授業であったこともあり、学生からもあまり認知されていなかった。参加学生のすべてが第三著者の所属コースまたは研究協力者の声がけによるものであることを考えると、学生を活動に招き入れるためには、ある程度の関係性や認知が重要であると思われる。ただし、第三著者の授業は著者の所属コースの学生が多く受講している。そのため、アナウンスを受けた学生の中で相対的に所属コースの学生が多いことが関係している可能性もあり、解釈には注意が必要である。

上述の哲学対話の取り組みは教師主導で行ったため、次の活動として活動内容も学生が自由に考えるようにし、大部分を学生の裁量に任せる活動を行うことを目指した。そこで、令和3年2月ごろに実施された「道德教育の基礎と実践」「現代教育概論」「心理学概論」「心理学統計法」「学習・言語心理学」の授業終了後にアナウンスして募集を行った。募集の際には、授業用のwebサイトにpdfのチラシおよびgoogle formsのリンクを掲載するとともに、概要について口頭で説明をした。活動内容は特に決まっておらず、学生がやりたい活動を教師が支援するという旨で募集を行った。その結果、話を聞きに来た学生が4名(3年生1名、1年生3名)いたが、いずれも実施には至らなかった。3年生(国語教育コース)は1人で話を聞きに来たが、やりたい活動が明確に決まっていなかったこと、他に協同して行う仲間が見つからなかったことなどから参加には至らなかった。1年生(現代教育コース)は1人で話を聞きに来た学生と、2人で話を聞きに来た学生がいた。それぞれ、やりたいことが明確でなかったこと、進級に伴うキャンパス移動で次年度の生活が不透明などの理由で実施には至らなかった。今回、興味を持った学生は、1名第三著者の所属以外のコースから参加があったが、3名は所属コースからで

あった。やはり、実施者と関係性のある方が参加のハードルが低いのかもしれない。また、活動には興味があるが、具体的に何をやりたいのかが明確ではなく、やりたい気持ちはあるものの実施には至らないケースが多かった。学生主体の活動とはいえ、ある程度は目的が明確である方が参加しやすい可能性がある。そもそも、すでにやりたいことがある学生はサークルやボランティアなど自分で活動をしていると思われる。著者らの活動で招き入れるべき学生は、何かやりたいとは思っているが、何をやればよいかわかっていない学生だと考え、そのような学生が参加しやすいように大きな枠組みを教師側でつくることとした。

次の募集では教員が「Minecraft を用いて哲学対話をする」と活動の枠組みを決めたうえで、参加者募集を行った。令和4年6月ごろに「道德教育の基礎と実践」「現代教育概論」の授業後にアナウンスして募集を行った。募集の際には、授業用のwebサイトにpdfのチラシおよびgoogle formsのリンクを掲載するとともに、概要について口頭で説明をした。なお、ある程度概要を理解してもらうため、講義の中で哲学対話を行ったうえで参加者を募った。また、研究協力者のゼミに所属する学生にも別途声をかけるように依頼した。その結果、信州大学からは3名(4年生1名、3年生2名)が活動に参加することとなった。内訳は、現代教育コース1名、ものづくり技術教育コース1名、英語教育コース1名であった。うち、1名の学生は前回の教師主導の哲学対話から継続しての参加となった。また、ものづくり技術教育コース、英語教育コースの学生は研究協力者の教員のゼミに所属する学生であった。加えて、第二著者の紹介により、第二著者の所属する大学から哲学対話に興味がある学生1名(2年生)が参加することとなった。大学の枠を超えて活動に参加できることはICTが発達した現在のメリットである。加えて、活動を進める中で令和4年12月にマイクラ対話のデモを行ったところ、デモへの参加者のうち1名(心理支援コース2年生)が興味を持ち、活動に加わることとなった。デモに参加して実際に体験をすることで活動のイメージができ、参加につながったのだと思われる。

(3) 次年度に向けた取り組み

教師主体の哲学対話の取り組みは、研究の助成が終了すること、参加していた学生が全員卒業することか

ら活動を終了する予定である。

学生主体のマイクラ対話の取り組みは、現状では実施に向けての環境整備および単発でのイベント的な対話の実施を行っている。次年度では定期的に子どもを集めて対話をするを予定しており、参加学生の増員が求められる。そのために、第二著者の大学の学生が参加しているように、大学の枠を超えて活動に興味のある学生の募集を促進していくことも、活動を維持していくための方略の一つと考えられる。加えて、第一著者が行っている愛大マイクラとの連携も図りたい。学生には愛媛大の人に話を聞くことを勧めているが、なかなか交流が生まれない。今後は、ICTを活用して、コミュニケーションを取りやすい環境をつくったり、参加者の負担感を少なくしたりして、遠隔での交流のハードルを下げていくことが求められる。

また、活動を知ってもらうことも重要である。マイクラ対話では教員が活動の枠組みを決めたことで、活動内容も学生が決めるという旨で募集をしたときよりも活動をイメージしやすくなったことが、参加者の増加につながったと思われる。デモに参加したことをきっかけに、活動にも参加した学生がいたように、実際に行っていることを知ってもらうことは重要である。今後は、活動中に行っているマイクラ対話を大学生にも体験してもらう機会をつくったり、SNS等で積極的に情報を発信したりしていくことも招き入れのために必要であると考えられる。

加えて、活動をしていく中で学生の中には Minecraft を使って哲学対話以外の活動をしたいという声も上がっている。今後は教師が大枠を決めた活動に参加しつつ、そこからやりたい活動を見つけて新しい活動を主体的に作り上げていくことも支援したい。

5. 考察

(1) 準正課教育研究における位置づけ

ここからは愛媛大学・高知大学・信州大学の取り組みを振り返っての知見の要約や、共通して乗り越えるべき課題などについて、第4著者が述べていくこととする。

ここで紹介された活動は先端的で、これほど充実した活動を実施しているところは日本中を探してもあまりないであろうことをまず最初に述べておきたい。関沢・金木(2021)によれば、日本では準正課活動の現状として、『正課化』とでも呼ぶべき、何らかのか

たちで卒業単位に組み込むことで、通常の質保証サイクルへ統合する動き」がある一方で、「準正課／正課外活動の多様性から、個々の活動について質保証のサイクルを担う部署の特定自体が難しい状況」もあると指摘している。実際、2020年春に全国の高等教育機関に対して実施された調査の報告分析(金木・関沢, 2020, 回答率 9.7%)によると、地域貢献のための提案・PBL 取り組み等として実施している機関は 23% (26 件／104 件中) で、データ管理もされているが、学生の学習成果との関連性について活用中のものは 11.9% (8 件) にとどまり、十分に機能しているとは言い難いと言えるだろう。

また、武市(2020)による正課外活動、特に教職員が関与する準正課活動の教育効果に関する国内文献の調査では、信頼のおける規模や手法を用いた文献は非常に限られていると指摘されており、まだ研究が進んでいないということも言えるであろう。

このように本稿で示した活動は全国的にも珍しい取り組みである。さらに、多忙な教員が本務の合間を縫って、学生に卒業のために必須ではない活動へ自主的に参加してもらうという非常に難易度の高い活動であるともいえるだろう。本稿の題目は「準正課活動に学生を招き入れる方略」であるが、魅力的な活動であること自体が招き入れる方略の最大のものであると考えられるため、まずは、第一・二・三著者の活動を踏まえつつ、魅力的な準正課活動に必要なことについて述べ、その上で、広報戦略としての方略について記すこととする。

(2) 参加学生の自己実現の支援

準正課活動は、大学の正課ではないため強制性はない。かといって、学生たちだけで好きなことを実施する自由な活動というわけでもない。教員の支援を受けながら、学生たちが自己実現のためにする活動であると考えられる。教員は学生の意見を尊重し、自由な発想やアイデアを受け入れるように心がけ、学生が主体的に行動し、自己実現するために必要な環境を整備することが大切となる。また、参加した学生に対する評価も重要である。評価は学生の成長や学びの深まりにつながるるとともに、次のステップにつながる重要な要素でもある。教員自身も経験したことがないような活動に取り組んでいる時の評価は難しいこともあるが、横に並んで一緒に考えたり、他の活動での経験からの

建設的なアドバイスそのものが学生の動機づけにつながるだろう。そのような観点から企画・運営を考えていく必要があるだろう。

（３）ニーズの掘り起こしと謙虚な助言

学生が主体的に取り組める活動を設計するにあたって、学生のニーズを知ることは決定的に重要である。しかし、先行した事例がないところで参加を呼び掛けでも、学生は活動の具体的なイメージを持てず、参加をためらうのではないだろうか。学生自身が何をやりたいか気づいていないこともあるだろう。そのような状況では、アンケート調査に加えて、話し合いの場を持つということも一つの手であろうし、大学でまだ提供されていない、重要な話題を教員が提供することも有効かもしれない。例えば、活動の際に Co-agency を育むといった先端的な教育の枠組みを取り入れること自体が、積極的に学生が関わってくれるきっかけを提供すると考えられる。将来の教育の根幹に関わるような活動を企画すること自体が一番よい招き入れ方であると言えるかもしれない。

まだ普及していないことを実施するのは不安がつきまとう。他大学の先行事例に倣ったり、他大学と協働で実施するというのも一つの確実な方法であろう。上述した1.や、以下の3.とも関連するが、専門家からの助言や支援が受けやすく、安心して活動が行いやすいこと、地域とのコラボレーションや異分野とのコラボレーションが行いやすいことが、準正課活動のメリットでもある。学生の自主性を重んじつつ、学生たちのものの見方を広げるような助言を与えることで、本人たちが気づいていないニーズを見つける支援も有効であろう。先行事例のプロジェクトレポートや先輩の声なども役買ってくれるのではないだろうか。

（４）イノベーションの促進

教育学部の学生は、例えば、学校教育改革、地域の課題解決、子どもや若者の支援、多文化共生などの課題に興味を持つと考えられるが、同じようなものの見方や同世代の人たちとの間での学びを超えて、異分野とのコラボレーションや自由な発想を促進することで、学生が新しいアイデアを出し、斬新な発想を持つ可能性がある。また、学生自身が問題解決に向けて考え、行動することで、イノベーションを促進することができる。このことが、準正課活動における潜在的な

可能性の1つであろう。そのためには、教員自身がさまざまな活動に関わり、知見を積み重ね、ネットワークを構築することが必要である。長年の蓄積がものをいうという側面もあるが、新しいことに飛び込む勇氣も必要である。その姿勢自体から学生も学ぶものと考えられる。

（５）金銭的な支援、スケジュール的な支援、オンラインでの活動の推進

多忙な学生にとっては、準正課活動はアルバイトや授業との調整が難しいものである。教員は、学生のスケジュールを考慮し、週末や夜間でも参加できるように活動時間帯や期間などの調整を行ったり、助成金や学内プロジェクトの一環として位置づけることで、特定の作業に対して金銭的な援助を行うことも一つの支援となるだろう。近年は、オンラインでの活動が一般化しつつあり、オンラインでの参加を促すことで、地理的な制約を受けずに、多くの学生が参加しやすくなる。オンラインでの参加に必要なスキル構築のサポートも一つの支援ではないかと考えられる。

（６）マネジメント的な観点

熱心な教員ほど手とり足とり指導したくなったりするものだが、活動は学生たちだけでも取り組めるように徐々に足場掛けをはずして、教員は自分のネットワークを活用したコラボレーションの支援をしたり、フィードバックループがうまく回るようなシステムを作ったり、先輩や他校との連携を活用することに注力し、自分自身が教員としてうまく活動できるような（そして、そこで得られた教訓からさらに自分自身が成長できるような）マネジメントの観点も必要であると考えられる。また、準正課活動の難しい点の1つに、トラブルが起こった時の対応や、途中で辞めてしまう学生、フルコミットできない学生への対応などがある。学生は数年すると卒業してしまうというのも本質的な課題の1つである。フレキシブルな企画・運営が求められ、一朝一夕で解決できる問題ではないが、関係者と相談して経験を積み重ねることで、柔軟な運営に繋がっていくと信じたいところである。

以上、参加学生にとって魅力的な準正課活動の特徴について述べてきた。どのように学生を招き入れるかについては、忙しい学生でも参加しやすい具体的な体験の機会や体験者の話に接する機会を増やすという

ことが重要であろう。以下に箇条書きで記す。実際、実践者である第一・二・三著者が既に実践されていることであり、新規性はないが、基本に勝る戦略はないと考えている。

- ・魅力を伝える公開イベント、体験イベントを開催
- ・記録をとって、具体的な根拠に基づいて、長期的な成長について語ってもらう
- ・授業等で関連性・重要性を強調して伝える
- ・パンフレットを作ったり、動画を作ってウェブやSNS等で公開する
- ・イベントに参加しやすいようにオンラインフォームでの申し込みの活用
- ・オンラインイベントの検討
- ・先端的な事例での講演依頼

謝辞

この研究は科学研究費補助費（基盤研究 C、代表者：富田英司）「Co-Agency を育む準正課活動のための教師教育環境と仮想空間」（21K02440: 2021-2014 年度）の支援を受けて行なわれた。個々の取り組みのうち、愛大マイクラについては、マツダ財団青少年健全育成関係研究助成「ポストコロナ時代のハイブリッド青少年交流環境」（2021-2022 年度、代表者：富田英司）、言葉と数の教室については高知大学令和 4 年度教育研究活性化事業（教育改善・修学支援）（代表者：野中陽一朗）、授業観察については高知大学令和 4 年度高知大学教育学部長裁量経費（代表者：野中陽一朗）、哲学対話については公益財団法人博報児童教育財団「第 16 回児童教育実践についての研究助成」（代表者：三和秀平）の支援を受けておこなわれた。

引用文献

- 門田朋三（2022a）大学生と一緒に学び、遊びませんか？不登校の小中学生の居場所「和サークル」が高知市で始まりました 高知子育て応援ウェブメディア「ココハレ」 Retrieved February, 24, 2023, from <https://kokoharekochi.com/article/feature/recommend/n42706/>
- 門田朋三（2022b）不登校の子に居場所を 不登校の子に居場所を 高知新聞日刊 11 月 8 日, 20.
- 金木宏心・関沢和泉（2020）. 準正課活動／正課活動をどのように質保証サイクルへと統合するか, 第 9 回大学情報・機関調査研究集会論文集, 56-61. https://www.jstage.jst.go.jp/article/mjir/9/0/9_56/_pdf-char/ja

- [pdf-char/ja](#)
- コルトハーベン, F.A.J. 編著: 武田信子監訳（2010）教師教育学—理論と実践をつなぐリアリスティック・アプローチ 学文社
- Lipman, M. (2003) *Thinking in Education*. (Second ed.), Cambridge University Press.
- 三和秀平・青山拓実・解良優基・山本大貴（2022）「どうして勉強しなきゃいけないの？」という問いの哲学的な対話は学習動機づけを向上させるのか—大学生と小学生を対象とした調査—, 日本教育工学会論文誌, 早期公開版. <https://doi.org/10.15077/jjet.S46013>
- 三和秀平・松島恒熙・山本大貴・青山拓実・小倉光明（2022）オンライン哲学対話の円滑化に向けた ICT 活用の実践—テキストベースの対話とマインクラフトを用いた対話—, 信州大学教育学部附属次世代型学び研究開発センター紀要 教育実践研究, 21, 91-100.
- 野中陽一朗（2022）教職志望学生は授業観察において何を捉えているのか—道徳科に着目して— 信学技報, TL2022-30(2022-12), 21-25.
- 野中陽一朗（印刷中）教職志望学生は主体的に準正課活動を進める上でどのような支援を求めているのか—活動時期の特徴を踏まえて— 第 29 回大学教育フォーラム発表論文集.
- Schuck, S., & Russell, T. (2005) Self-study, critical friendship, and the complexities of teacher education. *Studying Teacher Education*, 1(2), 107-121.
- 関沢和泉・金木宏心（2021）. 準正課/正課外活動をどのように質保証サイクルへと統合するか(米国編), 第 10 回大学情報・機関調査研究集会論文集, 112-117. https://www.jstage.jst.go.jp/article/mjir/10/0/10_112_22/_pdf-char/ja
- 武市祥司（2020）課外活動の教育的効果に関する実証的研究の文献調査 工学教育研究講演会講演論文集, 68 (3B06), 214-215. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jseeja/2020/0/2020_214/_pdf-char/ja
- 富田英司（2021）共同主体性を育成する学習環境・課外活動の課程設計. 愛媛大学教育学部紀要, 68, 89-99.
- 富田英司・大石若奈・市本早香・中山晃（2019）学生主体の放課後学習支援における活動の変遷. 大学教育実践ジャーナル, 17, 67-74.
- 富田英司・玉井誠一・河村泰之・坪田康（2022）Minecraft を用いた論理回路学習環境の設計 科学教育研究センター紀要, 1, 60-66.
- Tomlinson, C. A. (2002) *Invitations to learn. Educational leadership*, 60 (1), 6-11.
- 吉田新一郎・岩瀬直樹（2019）シンプルな方法で学校は変わる 自分たちに合ったやり方を見つけて学校に変化を起こそう みくに出版

中学校理科「音」の単元構成の工夫
—振動数と和音の関係を探究する活動を通して—
Ingenuity in Unit Composition for Junior High School Science “Sound”
—Through Activities That Explore The Relation Between Frequencies and Chords—

○沖野 俊也^{*1}, 向 平和^{*2}

Okino Toshiya^{*1}, Muko Heiwa^{*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}Ehime University Junior High School, ^{*2}Faculty of Education, Ehime University

【要約】 よりよい未来を創造する力を育むために目的意識をもって学習に取り組む姿勢を生徒に身に付けさせた。そのためには、生徒が自分自身で問いを立て、行動を決定していくこと、また、明確な目標の基に責任をもって行動し、振り返りを次の行動に活かすことができることが重要である。そのような生徒を育てることを目的として中学校1年生「音」の単元を通して探究学習を行った。

生徒たちは合唱コンクールの経験から「音の重なりがなぜ心地良く聞こえるのか」という問いを立てた。その問いの解決に向かうために小さな問いを立て、その解を導くための実験を計画して実践することを繰り返した。活動の中で音の重なりを科学的に分析していくことで、音というものを音楽と理科の両方の視点で捉えながら関心を高めていった。また、STEAM教育としてこの学びを終えた生徒はこれから新たな「音」の現象や「音楽」の美しさと出会う際、理科と音楽科で学んだことを自然に意識できる感性をもったと考える。

【キーワード】 音, 教科横断, 探究学習, STEAM教育

I. はじめに

愛媛大学教育学部附属中学1年生生徒は128名である。学期末毎に行っているアンケートでは、理科の授業に対して「学ぶことが楽しい」と肯定的に捉えている生徒が多い。理由として「班で意見交換をして課題解決することが楽しい」「自分の知らない新しいことを知ることが楽しい」などが挙げられていた。一方、否定的な生徒の理由として「計算することや暗記することが楽しいと感じないことがある」「もともと苦手な教科だから」などが挙げられていた。授業への要望事項として「実験の時間をもっと長くしてほしい」「班で話合う時間を長くしてほしい」などの意見があった。また、現状として自分自身の学びに大きな不安を抱える生徒も数名いる。このことから、生徒が学習課題を自分自身と結び付け、主体性を持って学習に取り組むために、事物・現象の仕組みを自分たちで明らかにする態度を身に付けさせることと、科学的に思考することが面白いと感じる授業計画が重要である。

振動数と和音の仕組みは数学の要素も含まれる。計算を苦手とする生徒にも心地良く聞こえる音の重なりを数字で表すことができるという事実気付かせ、興味を持って前向きに取り組ませたいと考えた。また、

課題を探究する上で、音に関する基本知識を使いこなす必要があることから、学習は暗記ではなく、習得した知識・技能を活用する術を身に付けることであることを理解させたい。

今回の学習活動の目的は全員が学習内容を理解して説明できるようにすることとした。誰一人置いていくことのないように仲間で協力する姿勢も身に付けさせたいと考えた。

II. 授業実践の方法

1. 対象と期間

中学1年生 32名 4学級を対象に 2023年1月12日～2月13日の期間で授業実践を行った。

2. 方法

A 問いを立てて解決していく単元構成の工夫

『音の重なり(和音)が心地よく聞こえるのはなぜか』という大きな問いを解決し、2年生に伝える授業を行う学習活動を通して、中学校での学習内容が身に付いていく流れの単元構成に挑戦した。年度当初から「そもそもなぜ～?」という考え方を大切にしておき、小さな問いの三角ロジックモデルを実証を行って完成

させていった。

時限	ねらい・学習活動
1	・校内合唱コンクールの振り返りから、大きな問いを立てた。→「音の重なりが心地良く聞こえるのはなぜか」
2 〜 10	・立てた問いを解決するために、小さな問いを立て、解決していく探究活動を班別で行った。 ・小さな問いに対する解は個人で三角ロジックモデルにまとめた。 ・探究活動の流れを見計らい、音に関する基本的な知識を全員持っているテキストを用いて確認した。
11 12	・探究活動の答えを2年生に伝える授業計画の立案を通して、自分たちが科学的な根拠を基に音の性質について理解をしているのかを確かめた。
13	・自分たちの探究活動の流れを2年生に体験してもらう活動(アウトプット)を通して、理科と音楽科の学習に対しての興味・関心と理解を深めた。

図1 単元構成の流れ

イ 三角ロジックモデルの利用

自分の意見を論理的に組み立てる力を伸ばすために、授業で国語の既習事項である「三角ロジック」の考え方をうい、フレームワークとして利用した。三角ロジックには「主張」、「事実」、「理由付け」の要素があり、特にこの「主張」と「事実」をつなぐ「理由付け」の要素を大切にしてきた。「理由付け」をするために「質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考える」という理科の見方・考え方が発揮されると考えた。

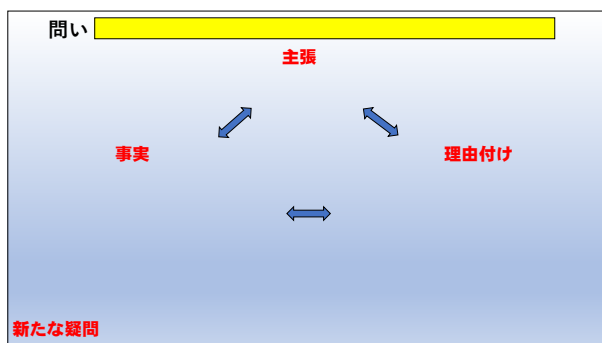


図2 三角ロジックモデル

Ⅲ. 授業実践の結果

1. 生徒の活動の実際

振動数の測定については一人一台持っている iPad のオシロスコープアプリを用いた。また、探究活動を行う上でのルールを

- ① 4～6 人のチームを組んで探究していく
- ② 班員全員が理解して説明できるようにする
- ③ 教科書は参考にして良いが、実証は必ず行う
- ④ これまで理科等で学んだ手法（見方・考え方）を活かすとした。

以下は多くの班が行った探究の流れである。

3 年生の合唱の感想より→ハーモニーが美しかった
→問い：音の重なりが心地よく聞こえるのはどうしてだろう？

→問い①：そもそも音とは何なのだろう？

- ・音は振動である

→問い②：振動はどのように耳に伝わるのだろうか？

- ・空気中を波として伝わる（液体、固体、気体中を伝わる）
- ・音の振動はオシロスコープで波形として観察することができる

→問い③：音の大きさと高さは振動とどのような関係があるのだろうか？

- ・振幅が大きいほど音の大きさが大きくなる
- ・振動数が大きいほど高い音になる
- ・振動数とは 1 秒間に振動する回数で、ヘルツ [Hz] で表すことができる
- ・音の重なりと関係がありそうなのは振動数である

→問い④：音の重なりと振動数とはどのような関係があるのだろうか？

- ・音の重なりで皆がよく知っている和音のドミソに絞って考えよう
- ・和音を 1 つの振動数で捉えることは無理なのでは→単音で考えよう
- ・単音の振動数から 1 オクターブで振動数が 2 倍違う

→教 員：より小さな振動数を基本として和音を分析してみよう

- ・ドミソの振動数は 4.0 : 5.0 : 6.0 の整数比になる

- ・ファラド、ソシレの振動数も整数比になる
 - ・不協和音の振動数は整数比にならない
- 問い⑤：振動数が整数倍比になると心地よく聞こえるのはなぜだろう？
- ・波形の調和に秘密がありそうだ



図3 探究活動の様子



図4 2年生への授業の様子

2. 生徒の成果物

3 班 音とは何か。

主張 音は物体の振動によって伝わる。

理由付け 実験①は、太鼓の上に10cmくらいの紙切れを乗せ、太鼓を叩き、音を出した時に紙切れがどう動くかを実験した。また、同様の方法で実験② 紙コップでも調べてみた。

事実 実験① 実験②

↓

どちらも音がした時に、その上に置いた紙切れが動いた。このことから、音は物体が振動することによって人々の耳に届くといえる。

新たな疑問 音はどのような状況で伝わるのか。 水、空気、糸電話（糸）、真空中で調べる。

3 班 音はどのような状況（環境）だと伝わるのか。

主張 音は、音源が出ている振動を伝えるもの（物体・気体）がそのまわりにあると伝わる。

音は空気中・水中・糸（糸電話）の中では伝わる。しかし、真空中では音は伝わらない。

理由付け 実験①、②、③から音は、空気中・水中・糸電話（糸）の中で伝わることを立証された。実験④では、簡易真空ポンプを使って真空中では音が聞こえるかどうかを調べた。始め（空気がある状態）なら音が聞こえていたが、ポンプで空気を吸い出していくうちに音が小さくなり、やがて聞こえなくなった。蓋を開けてみると音は鳴っていて、音が聞こえた。

↓

音源から出ている振動が、振動を伝える物体・気体を通してわたしたちの耳に届くことで音が聞こえる。

新たな疑問 波の形の違いの原因は何か。また、どのような規則性を持っているのか。

3 班 ドレミファソラシドの振動数にはどのような決まりがあるのか。

主張 それぞれ固有の数値（振動数）があり、一オクターブ上がることで振動数が2倍される。

理由付け ハーモニーでディレクターでそれぞれの音（単一）を出し、振動数を調べる。（左の表）

この実験から、ドレミファソラシドの振動数はそれぞれ異なるが、その音の振動数は、一定で変わらないことがわかる。→それぞれ固有の振動数がある。

また、一オクターブ高い音は振動数が2倍になっていた。→ドレミファソラシドの①の値になるのは、振動数が①の2倍になっているからだ。

新たな疑問 ドミノ（和音）の関連性とは何か。

3 班 音の重なりが綺麗なもの（協和音）とそうでないもの（不協和音）の違いは何か。

主張 協和音と不協和音かは、重なっている音合で、振動数÷基準値の解を求めると限りなく整数に近い数字で、連続した数字である音であるかどうかだ。

理由付け 『ドミノ（協和音）の関連性』を解くために行った実験からわかることを元にドミノファラド ソシレの和音の時でも、同じように解を求めた。結果、ドミノ…② ファラド…③ ソシレ…④ 結果、計算で求める時、音の振動数÷基準値で求める。左の図のように、2つの条件を満たしている。また、この決まりは正しいと言える。4.5倍になる。では、不協和音の場合はどうか。ドレミ、ドミファで調べた。ド…4 レ…4.66 ソ…6.01 ド…4 ミ…5.34 ファ…6.01 両方とも条件を満たしているとは言えない。

新たな疑問 なぜ、振動数÷基準値をした時の解が整数に近いと綺麗に聞こえるのか。

3 班 なぜ、振動数÷基準値をしたときの解が整数に近いと綺麗に聞こえるのか。

主張 整数比だとオレンジの線で重なる回数が多く、互いの音を活かし合うから。

理由付け 波を書いて考える。赤の線を基準とした時、1.5倍（緑の線）、2倍（青の線）の波を書き込む。

↓

表を見てわかる通り、1.5倍（小数倍）の時は緑の線で重なる回数が2倍（整数倍）の時よりも少ない。⇒整数倍どうしの場合互いの音を生かし合う。

新たな疑問 重なるときの割合は、重なり具合は？

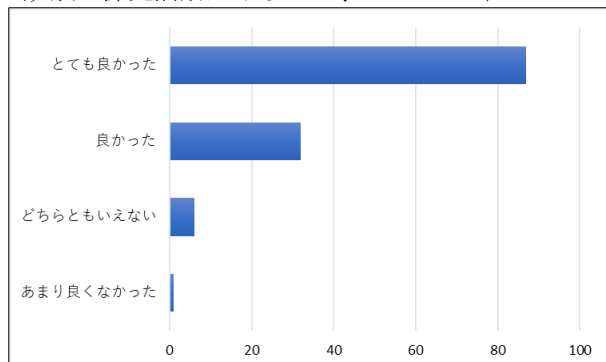
図5 生徒の三角ロジックの一部

IV. アンケート調査結果及び考察

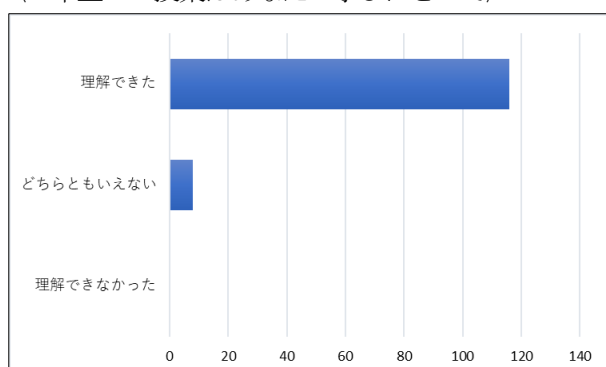
単元の学習後に探究活動を行った後にアンケートを行った。以下はその結果である。

1. 1年生へのアンケート（126名）

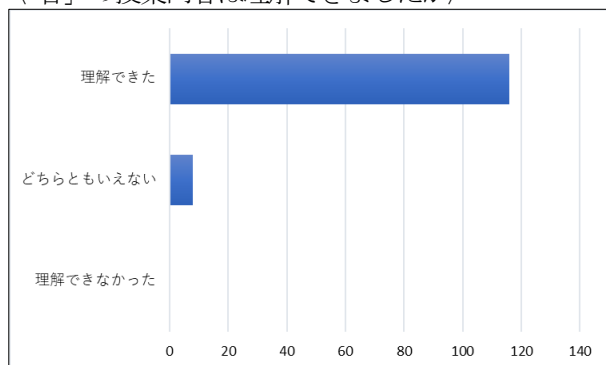
〈班別の探究活動はあなたの学びにとって〉



〈2年生への授業はあなたの学びにとって〉



〈「音」の授業内容は理解できましたか〉



〈生徒のことばより〉

- ・身近にあったものの根拠を知ることができて感動した。今までやってきた探究活動の中で一番難しかった。でも一番楽しかったし、一番感動して達成感があった。
- ・自分たちで「なぜこうなるの？」と疑問をもつことで意見を交わすことができ、考えが深まった。自分のことばで考えるので頭に入ってきた。
- ・自分たちで目的を設定して、調べるということにワクワクした。

・問い、方法、次の課題という過程の進行方向の修正が難しかった。2年生への授業をつくることで、どこが理解できてないか知ることができた。

・授業をつくるためには自分が理解しないといけないから集中できた。

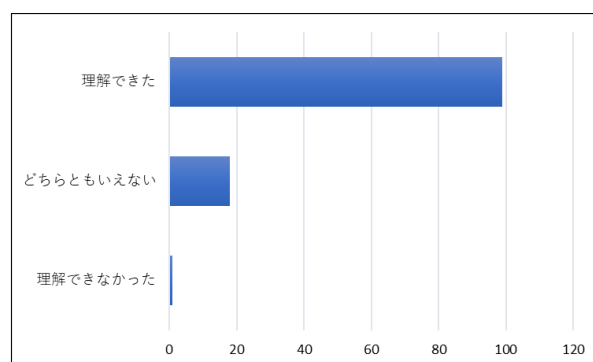
・時間がかかるので、学習の効率は良くないと感じた。

今回の取組についての肯定的な意見が多かった。自分たちで立てた問いを自分たちで考えた方法で解決していくという過程が主体的な活動となり、興味関心を持続しながら探究できたことが生徒の達成感にもつながったと考える。「この仮説や実証方法は適していないことが分かった」というような失敗の中から学ぶ科学の大切な部分を経験させることができたことが教える側にとっても大きかった。

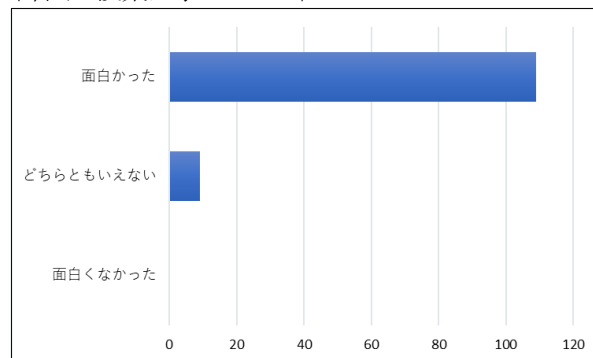
2年生への授業については、下級生ではなく上級生に伝えるという難しさはあったが、そのことがしっかり理解しなくてはという責任感へつながったこともあり、アウトプットすることの有用性を感じた。

2. 2年生へのアンケート

〈問いの答えは理解できましたか〉（118名）



〈今回の授業は学びとして〉



〈生徒のことばより〉

- ・1年生のときに学んだことを活かして考えたので楽しかった。音に関する疑問が更に増えた。
- ・和音が心地よく聞こえる理由について考えることが

無かったので新鮮だった。1年生がヒントを出しながらうまく説明してくれた。お互い良い勉強になった。

・1年生が緊張しながら一生懸命やってくれ、理科が苦手な自分も理解できた。

2年生にとっては1時間の授業であったが、音が心地良く聞こえることにも科学的な根拠があることに驚いていた生徒が多かった。また、その科学的根拠は1年生のときに自分たちが学んだ知識を活用することによって説明できることにより、学びが多方面で活用できていくことを実感した様子であった。

V. おわりに

「はじめに」で記した生徒アンケートを3学期にも行った。「理科の学習が楽しい」と答えた生徒の人数が、どの学級も2学期よりも3学期の方が増えた。このことは音の単元の探究活動の成果である。また、今回の取組の生徒の積極的な活動の様子から自分たちで意思決定をしていく探究活動の有効性を強く感じた。

しかし、活動の中で2回行った基礎知識の確認から、音の高さと振動数と波形の概念を正しくつなげて理解できていない生徒も相当数おり、知識の習得の確認も必要であった。

音の重なりについては高校の物理基礎で学習する共鳴や定常波の概念が関係してくる。しかし、中学校で学習する音の高低と振動の関係を正しく理解すれば推測可能な内容である。『音階は振動数で考えれば規則正しい法則になり、音色と倍振動の関係など、音楽的に心地良く聞こえるのには理由がある』という解に向かって探究活動を行う中で、これまでの理科学的な見方・考え方を活用していく術を身に付けるのに適した単元であった。

これからも生徒のよりよい未来を創造する力を育むために、カリキュラムを見通して、各教科で学んだ知識・技能や見方・考え方を活かすことができる単元を通した探究活動を計画していきたい。

文献

文部科学省 (2018) : 中学校指導要領解説理科編, 東洋館出版社.

小形厚 (2018) : 音律と音階の科学, 講談社.

フランソワ・デュボア (2022) : 楽器の科学, 講談社.

松下佳代 (2021) : 対話型論証による学びのデザイン, 勁草書房.

Nature of Students' Research Projects at a Japanese National High School

Vincent Sabong^a and Manabu Sumida^{a*}

^aFaculty of Education, Ehime University, Matsuyama, Japan

*Corresponding author: sumida.manabu.mm@ehime-u.ac.jp

Abstract

There is a dearth of research that shows the nature of Japanese high school students' Project Research (課題研究) outputs. In this study, we determined the major recurring themes, issues addressed, research designs, and STEM competencies exhibited by the research projects made by students from a national high school in Ehime Prefecture, Japan. Using a text mining software and manual categorization, we found that the major themes set by the students for their research were concentrated on local issues familiar to them such as revitalization of local cultures and communities, and development, improvement, and utilization of technologies related to agriculture and disaster prevention. These themes aligned directly with the top Sustainable Development Goals issues that most of the students focused on: Sustainable Cities and Communities (SDG 11) and Industry, Innovation, and Infrastructure (SDG 9). For the design of their research, most of the students used non-experimental research design which included survey, field, and archival designs. This may have impacted the results that showed strong indications that students exhibited STEM skills like complex problem-solving, critical thinking, and mathematical thinking and reasoning skills, but quite low indications on skills such as knowledge integration, creativity and innovation, and engineering-design process skills. These results may imply that in guiding students' research, teachers must encourage students to innovate and solve more novel and globally relevant issues.

Keywords: students' project research; text mining analysis; SDGs; research designs; STEM competencies

INTRODUCTION

At a national high school in Ehime Prefecture, Japan, students are provided with a comprehensive academic system and a wide range of highly distinctive education, among which are cooperation initiatives with its affiliated university. A major feature of these cooperation initiatives is the subject offering called *Project Research* (課題研究). This subject offering was designed for students find local and global issues to work on according to their own interests and career aspirations. Moreover, a unique aspect of this subject's design is that students receive direct research guidance from the relevant faculty members of the school's affiliated university. Through this subject, students acquire the

qualities and skills to solve issues and problems pertinent to their society, thus playing a significant role in their communities.

Such design of Project Research subject aligns strongly with the reform of Japan's Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) to promote inquiry-based learning. In the most recent revisions of the Japanese courses of study for science and mathematics for upper secondary schools, Science and Mathematics Inquiry course was established to train students to set their own problems, carry out the process of inquiry on their own initiative, and write reports on the results of their inquiry (MEXT, 2018). MEXT also highlights the similarities between its direction of the emphasis on inquiry-based learning with that of STEM education. In STEM education for supporting high-level cognition, the curriculum is organized such that it provides opportunities for students to creatively link between areas of science, technology, engineering, and mathematics subjects (Taber, 2018). Here, emphasis is placed on problem-solving and problem-based learning through the integration between areas of subject matter. Hence, students taking the Science and Mathematics Inquiry course not only immerse themselves in inquiry-based learning, but they also develop vital STEM skills such as complex problem-solving, 21st century skills, mathematical thinking and reasoning skills, and engineering-design process skills enhanced through problem-based learning (Ruamcharoen, Musor, & Loonjang, 2021).

While there had been recent studies that explored the effects of taking the Project Research course on students' agency (Matsubara, Sumida, Sato, Yoshimura, Kakuto, Onishi, Uwatoko, & Yagi, 2021) and achievement (Matsubara, et.al, 2022), the manner of implementation of the course at different senior high schools (Ichiryu, Muko, & Ikeda 2022), and STEM integration observed on high school students' project research (Sabong & Sumida, 2022), there is not enough evidence to show the nature of the students' research outputs. By exploring the nature of the students' research projects, we can reveal the qualities of their research outputs; whether these research outputs showed relevance to their local and global communities; and whether they exemplified vital competencies such as STEM-related competencies.

This present study is aimed at analyzing the research projects made by high school students from the target national high school in 2021. Specifically, we sought to answer the following questions:

1. What were the major recurring themes of the students' research projects?
2. What type of issues, local or global, or Sustainable Developmental Goals (SDGs) were addressed by the students' research projects?
3. What were the designs of the students' research projects?
4. Did the students' research projects show indication that they demonstrated STEM competencies during their research?

We believe that this study could provide insights on the measures for success of the implementation of the Project Research course at the target national high school and could potentially be a basis for enhancing research program initiatives at high schools.

RESEARCH METHOD

In school year 2021, 230 students from among the 2nd and 3rd grades of senior high school conducted research based on their interests and on relevant local and global issues. A total of 90 research projects were created by 90 diverse groups of students. We acquired a copy of the handbook that contains the summaries of the research outputs. To

further support our analysis, we also collected actual copies of the 90 research papers which are more detailed and made directly by the students themselves.

To understand the nature of these research projects, a text mining software called KH Coder was used to generate a word network of the students' research project titles. We loaded the complete titles of all the research projects to the software and limited the number of nodes to just 40 and the word-frequency up to 3. This was done to naturally drop irrelevant words or topics while surfacing the ones that would provide insights. By interpreting the results of the co-occurrence network, we could find major themes of the research titles from group of words which tend to appear together. From the word frequency list generated by the software as well, we could see whether the research projects addressed local or global issues. To get more precise results, we carefully examined the contents of each research paper and manually categorized them based on the type of issue that they addressed—whether local, global, or both. To determine the quality of the students' research outputs, we classified them based on the design of their research. While research project designs may be classified in multiple ways, we manually categorized them into experimental research, quasi-experimental research, survey research, field research, and archival research (Dane, 1990). Table 1 shows the description for each research design.

Table 1. Research designs and their description

Design	Description
Experimental	aims to establish causal relations between at least one independent and one dependent variable
Quasi-experimental	aims to establish causal relations between independent and one dependent variable/s but does not rely on random assignment
Survey	involves the use of questionnaires to obtain direct self-report information from participants
Field	includes any research applied to natural events—those not created, sustained, or discontinued solely for research purposes
Archival	includes any project in which existing documents or data are the units of observation

Lastly, to surface the STEM competencies exhibited by the students during their research, we adapted the list of STEM competencies by Ruamcharoen, Musor, and Loonjang (2021) and used them as criteria for manually rating each research project. These competencies were knowledge integration, 21st century skills (complex problem-solving, critical thinking, and creativity), mathematical thinking and reasoning skills, and engineering-design process skills. Table 2 shows the description for each criterion.

Table 2. STEM competencies criteria

Criterion	Description
Knowledge Integration	Research exhibited integration of knowledge of STEM (science, technology, engineering, and mathematics) or other disciplines
Complex problem-solving skill	Research showed evidence that students demonstrated the use of scientific method to solve a problem
Critical thinking	Research showed evidence that students demonstrated careful evaluation of the reliability of data given or gathered
Creativity / Innovation	Research showed evidence that students demonstrated ability to innovate and see new ways of doing things
Mathematical thinking and reasoning skills	Research showed evidence that students demonstrated making reasonable connections and predictions based on quantifiable data
Engineering-design process skill	Research showed evidence that students demonstrated ability to plan and design digital and mechanical systems to solve problems

RESULTS AND DISCUSSION

1. Major Themes of Students' Research Projects

By mere inspection of the handbook that contains the summaries of students' projects, the research projects can be organized according to the faculty that guided their research. Based on this, the students' research themes percentage are as follows: Faculty of Education (21%), Law and Letters (20%), Collaborative Regional Innovation (20%), Agriculture (14%), Engineering (11%), Science (7%), and Medicine (7%). However, categorizing the research projects this way did not clarify the nature of the students' research outputs. Using the text mining software called KH Coder, we were able to get a whole picture of the students' research projects. Figure 1.a shows the nodes which formed major topical groups as seen from the different colors that emerged, while Figure 1.b shows the centrality of each node with respect to other nodes.

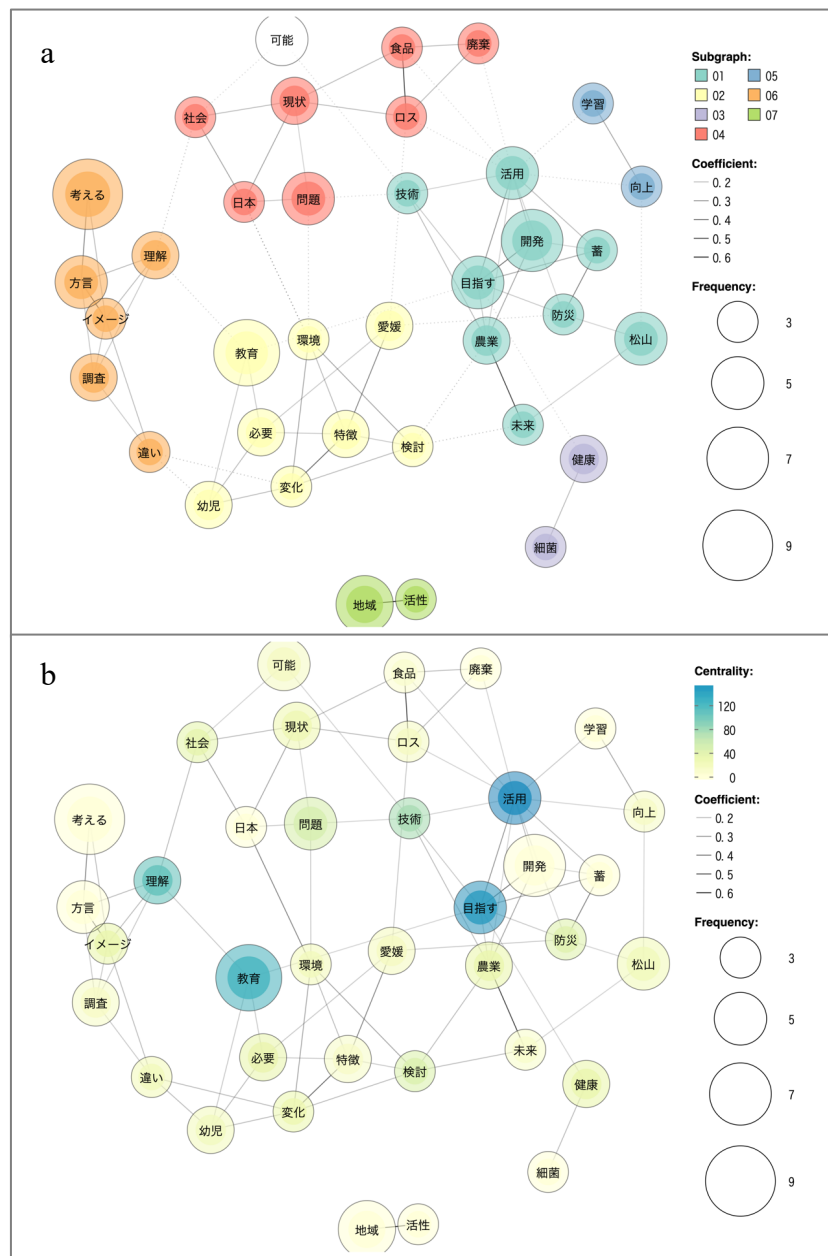


Figure 1. Text network of students' research projects (N=90)

Figure 1.a shows that the major topical groups were focused on the development, improvement, and utilization of technologies related to agriculture and disaster prevention (Subgraph 01); environmental change and education (Subgraph 02); and understanding the differences between certain dialects (Subgraph 06). From Figure 1.b, it can be observed that among the most frequently used words, the word “*utilization* (活用)” most frequently appeared next to the words “*technology* (技術),” “*aim* (目指す),” “*agriculture* (農業),” “*disaster prevention* (防災),” “*learning* (学習),” and “*improvement* (向上).” This word can be considered as the most influential node that is linked to different research topics. The network analysis further showed that many students focused on topics that dealt with revitalization of communities, health, improvement of learning, and food loss. The positive trend that emerged from the analysis was a strong focus on local issues as seen from the words “*Matsuyama* (松山),” “*Ehime* (愛媛),” and “*Japan* (日本),” which may indicate that students were able to process new information by connecting them with local contexts that are familiar to them.

2. Issues Addressed by the Students’ Research Projects

Each research summary contained in the handbook included a list of sustainable development goals (SDGs) that are related with or addressed by the project. By mere inspection, it was found that the top issues addressed by the research projects were related to SDG 11 or Sustainable Cities and Communities (14%), SGD 4 or Quality Education (12%), SDG 3 or Good Health and Well-being (11%), and SGD 9 or Industry, Innovation, and Infrastructure (10%). Furthermore, 71% of the research projects addressed at least two SDG issues. For instance, the project “*Production of biodegradable plastics by marine bacteria: protect the richness of the sea with bacteria obtained from sun-dried salt*” addressed five SDGs (SDG 9, 12, 14, 15, and 17).

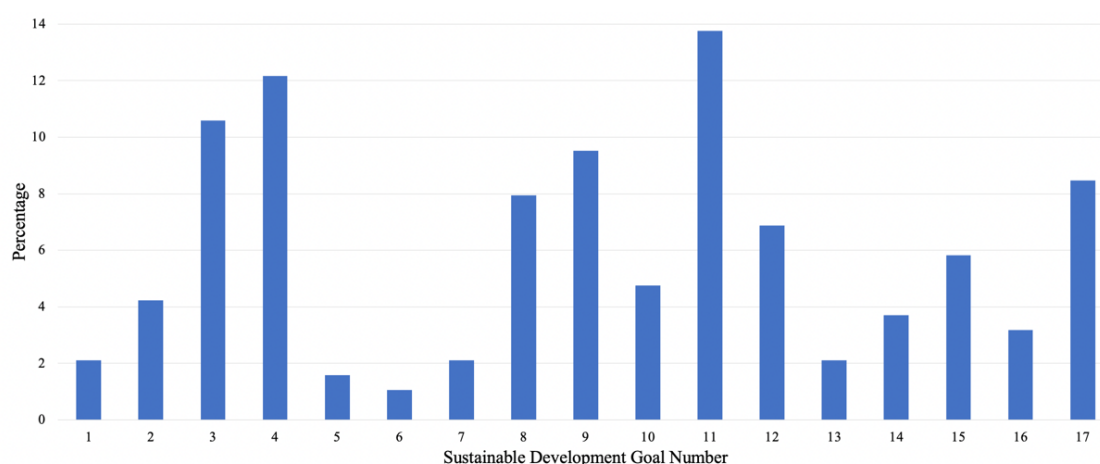


Figure 2. SDG issues addressed by students’ research projects

To determine whether the research projects addressed local, global, or glocal (global + local) issues, we referred to the word frequency list produced by the software. Table 3 shows the top 60 words derived from the research titles of the projects that had the highest frequency (*f*). As seen from the table, the words “*Ehime*,” “*Matsuyama*,” “*Japan*,” “*Community*,” and “*Society*” appeared frequently, which may indicate that the research projects conducted by the students addressed issues that are contextualized to their local communities. We conducted manual categorization of the students’ research projects to further clarify this result. Upon careful analysis of the students’ research

papers, we found that 42% of them addressed local issues—half of which addressed issues contained in their region (e.g., Matsuyama, Ehime Prefecture) and the other half tackled national issues. This can be confirmed by the results of a recent study which revealed that the students chose research topics that are relevant to their everyday life and local community (Matsubara et.al, 2023). The projects that addressed global issues comprised 30% of the total number of research projects made.

Table 3. Top 60 words derived from the students' research titles

Word	English Translation	f	Word	English Translation	f	Word	English Translation	f
考える	Thinking	9	イメージ	Image	3	グルメ	Gourmet	2
教育	Education	8	マーケティング	Marketing	3	デバイス	Devices	2
開発	Development	7	ロス	Loss	3	プラスチック	Plastics	2
地域	Community	6	違い	Difference	3	プロ	Pro	2
可能	Possible	5	学習	Learning	3	リサイクル	Recycle	2
活用	Utilization	5	活性	Vitality	3	医療	Medical	2
松山	Matsuyama	5	環境	Environment	3	運動	Exercise	2
方言	Dialect	5	技術	Technology	3	映画	Film	2
目指す	Aim	5	検討	Consideration	3	英語	English	2
問題	Problem	5	向上	Improvement	3	音	Sound	2
愛媛	Ehime	4	細菌	Bacteria	3	改善	Improvement	2
健康	Health	4	社会	Society	3	学校	School	2
現状	Current Situation	4	食品	Food	3	楽器	Instrument	2
世界	World	4	蓄	Storage	3	関係	Relation	2
調査	Survey	4	日本	Japan	3	傾斜地	Slope	2
特徴	Features	4	廃棄	Disposal	3	啓発	Enlightenment	2
農業	Agriculture	4	変化	Change	3	景観	Landscape	2
必要	Necessary	4	防災	Disaster Prevention	3	血管	Blood vessels	2
幼児	Infant	4	未来	Future	3	減らす	Reduce	2
理解	Understanding	4	クスノキ	Camphor tree	2	語	Word	2

Interestingly, we found that 28% of the research projects addressed “glocal” issues, or issues that are familiar to students' local contexts but are also connected to global issues (Sumida, 2017). For instance, the research entitled, “*Kiwi x orange: Search for anti-allergic effects from food*” addressed a global issue on good health and well-being (SDG 3) while the students used local ingredients like kiwi and oranges that are very common in Ehime Prefecture upon conducting their research. The research project, “*Effective use of discarded purple cabbage: Let's reduce food loss*” tackled global issues on food shortage and responsible consumption, while the students used purple cabbage which are very commonly used as a salad ingredient in Japan. Lastly, the project entitled, “*Development of devices for smart agriculture Aiming for new agriculture utilizing advanced technology*” addressed the issues on climate action (SDG 13) and decreasing number of labor force in agriculture industry, while the students themselves conducted their research in their school which has a rich history of being an agricultural school.

3. Designs of Students' Research Projects

We categorized each of the 90 research projects according to their research designs by referring to their titles, abstracts, and methods (if present). As seen on Table 4, two-thirds of the research outputs produced by the students were non-experimental in nature, particularly, they had survey (28%), field (26%), and archival (12%) research designs. For instance, the students used open-ended survey questionnaires for their

research on “*The state of childcare support: Focus on the municipality's own policies*” for them to determine what the recipients of the local government’s support wanted and needed. Another group of students also surveyed about 300 respondents to determine why Google continues to be used by people all over the world for their research on “*Google's magic: Power to be recognized by the world.*” For their research project on “*The current situation and challenges on reducing food loss,*” the students did field research and interviewed convenience store workers and owners to determine how they are helping reduce food loss. For their research on “*Exploring English-specific expressions and sound changes characteristic to spoken language: Through the American movie ‘Back to the Future’,*” a group of students used archival research design by analyzing English phrases from a scene that they selected from the American movie *Back to the Future*.

Table 4. Research designs of the students’ research projects (N = 90)

Design	No. of related research projects	Percentage
Experimental	20	22%
Quasi-experimental	11	12%
Survey	25	28%
Field	23	26%
Archival	11	12%
Total	90	100%

One-third of the total research projects were either experimental or quasi-experimental. Most of the students who conducted these research projects were guided by faculty members from the faculty of science, engineering, and agriculture. For instance, the research projects “*Deposition of impaired lignin upon acceptance of impaired stress in fern plants,*” “*Examination of sterilization method based on low temperature plasma sterilization,*” and “*Can sericulture waste be used as organic fertilizer?*” were experimental research designs guided by members of the faculty of science, engineering, and agriculture, respectively. For these research projects, the students stated on their research papers that they conducted multiple experiments and trial-and-error strategies to determine the causal relations between their identified dependent and independent variables.

4. STEM Competencies Observed on the Students’ Research Projects

In our previous study (Sabong and Sumida, 2022), we observed the integration among STEAM (science, technology, engineering, arts, agriculture, and mathematics) disciplines in the students’ research projects. While not all the research projects could be classified under these disciplines, we still found that 22% of the 90 research projects exemplified integration of at least two of the STEAM disciplines. This result was used to report the *Knowledge Integration* criterion percentage. Most of the research projects that showed disciplinary integration were an integration between science and agriculture disciplines. For instance, the research projects “*Water quality survey of familiar rivers: Difference between upstream and downstream*” and “*Accumulation and observation of soil microorganisms: Knowing the functions of living organisms in the soil*” were both guided by faculty members from the faculty of agriculture and tackled both agriculture and science discipline principles. The research project, “*Development of automatic ventilation system using Arduino board: Infectious disease control in school classroom*” demonstrated an integration between science, technology, and engineering disciplines.

Following the criteria that we set on determining whether the students' research projects exhibited STEM education competencies, we found that there is an overall indication that the research projects did show evidence of alignment with STEM education competencies. Table 5 shows the result of the manual rating that we did for the research projects. We found that 56% of the research projects aligned with the criteria that we set, indicating that most of the students exemplified vital STEM skills in the process of making their research projects. All the research projects showed evidence that the students demonstrated vital 21st century skills such as complex problem-solving, critical thinking, and creativity and innovation skills. About 78% of the research outputs showed evidence of students' complex problem-solving skill which means that the students used scientific method in solving the issues pointed out on their research paper. All the research outputs displayed evidence of students' critical thinking skills, which means that they paid careful evaluation of the reliability of data that they gathered during research. Lastly, 42% of the research outputs displayed students' creativity and innovation skills. This is evident in the novelty of the solutions, systems or methods, and technology that the students proposed or produced after the conduct of their research.

Table 5. Alignment of the students' research projects with STEM competencies (N = 90)

Criterion	No. of research outputs that exemplified the given criterion	Percentage
Knowledge Integration	20	22%
Complex problem-solving skill	70	78%
Critical thinking	90	100%
Creativity / Innovation	38	42%
Mathematical thinking & reasoning skills	67	74%
Engineering-design process skill	17	19%
Average	50	56%

The other skills that we identified as critical STEM skills are mathematical thinking and reasoning skills and engineering-design process skills. Mathematical thinking and reasoning skills were evident on 74% of the research projects as seen on the reasonable connections and predictions that the students indicated on the results and discussion and conclusion portions of their research papers. Finally, 19% of the research projects showed evidence that the students exemplified engineering-design process skills during their research. These were the research projects that showcased the students' ability to plan and design digital and mechanical systems to solve local or global problems. For instance, in the research project, "*Development of automatic ventilation system using Arduino board: Infectious disease control in school classroom*," the students designed and developed an automatic ventilation system that addressed both coronavirus outbreak and heat stroke countermeasures. In the research project, "*Development of devices for smart agriculture: Toward a new agriculture using advanced technology*," the students designed and developed blueprints of an automatic watering system for smart agriculture and planned to complete the programming and manufacturing of the actual system in the future. The results on the STEM skills exhibited by the students while conducting their research aligned strongly with the study of Matsubara et.al (2022) which confirmed that students strongly reported that they acquired abilities to solve problems independently, devise problem-solving methods on their own, and think logically and make decisions based on evidence.

CONCLUSION

The results of the text mining analysis and manual categorizations revealed to us a clearer picture of the nature of students' research projects. First, the text mining analysis revealed that the students focused on the following research themes: revitalization of communities; improvement of learning; environmental change and education; health; and development, improvement, and utilization of technologies for agriculture and disaster prevention. This result is further supported by the data that we gathered which revealed that the top issues addressed by the students' research projects were related to Sustainable Development Goals on Sustainable Cities and Communities (SDG 11), Quality Education (SDG 4), Good Health and Well-being (SDG 3), and Industry, Innovation, and Infrastructure (SDG 9). This may indicate a successful implementation of the Project Research course and SDG-related initiatives by the target institution during that academic year. These results could also potentially be a basis for enhancing research program initiatives at other high schools.

Further analyses also revealed that the students tended to choose research topics that are contextualized to their immediate local community. This suggests that the students were able to process new information or knowledge in such a way that it makes sense in their frame of reference (Hull, 1995). As guidance when setting the theme of the research project, it is important for teachers to help students to make strong connections between the contents that they learn academically and the actual real-world scenarios that they experience. Students initiated research projects that could subsequently benefit their local community. While there is nothing wrong with this, teachers and school administrations may help facilitate a broader scope of the students' research themes. This could mean exposing the students more into initiatives or curricular and extra-curricular activities that promote a globalized environment. This could potentially help them increase their global awareness and solve more complex global issues.

Based on the results of determining the design of research that the students conducted, most of the students used non-experimental research design which included survey, field, and archival designs. This may have also impacted the result that showed quite low indications that the students exhibited skills like knowledge integration, creativity and innovation, and engineering-design process skills. This can be a good opportunity for the school administration and teachers to assist students in exploring research topics that are globally relevant, innovative, programmatic, and scalable to have longer-lasting effects to them personally and to their community. Since students exhibited other important STEM skills such as critical thinking, complex problem-solving, and mathematical thinking, it is important for teachers and faculty members guiding the research to value the process of solving novel problems through collaboration with peers and enhance the logic and rationale of research through discussion with others, such as at mid-term presentations.

References

- Dane, F. (1990). *Research methods*, Chapters 5-9, Brooks/Cole Publishing Company.
- Hull, D. (1995). Who are you calling stupid? The revolution that's changing education. *CORD Communications*. 23.
- Ichiryu, K., Muko, H., & Ikeda, T. (2021). Survey of the actual conditions concerning the implementation of project research in high schools. *Proceedings of the Shikoku Branch Conference of the Society of Japan Science Teaching*, 39, 11-12.

- Matsubara, I., Sumida, M., Sato, E., Yoshimura, N., Kakuto, H., Onishi, T., Uwatoko, K., & Yagi, M. (2021). Theme setting and student agency in high school project research. *Proceedings of the Shikoku Branch Conference of the Society of Japan Science Teaching*, 39, 9-10.
- Matsubara, I., Sumida, M., Sato, E., Yoshimura, N., Kakuto, H., Onishi, T., Uwatoko, K., & Yagi, M. (2022). Composition of participating students and its impact on achievement in high school problem-based research. *Proceedings of the Shikoku Branch Conference of the Society of Japan Science Teaching*, 40, 30-31.
- Ministry of Education (2018). *Courses of Study for Senior High School (Announced in 2018) Commentary: Science & Mathematics*. Retrieved 30 January 2023, from https://www.mext.go.jp/content/1407073_12_1_1_2.pdf
- Ruamcharoen, J., Musor, H., & Loonjang, K. (2021). STEM-PBL activity for higher education to enhance the STEM competency, *2021 2nd SEA-STEM International Conference (SEA-STEM)*, 62-66.
- Sabong, V. & Sumida, M. (2022). STEAM integration in high school students' project research and science teachers' views on integrating agriculture into science courses. *Proceedings of the Shikoku Branch Conference of the Society of Japan Science Teaching*, 40, 40-41.
- Sumida, M. (2017). STEAM (science, technology, engineering, agriculture, and mathematics) education for gifted young children: A glocal approach to science education for gifted young children, K. S. Taber, M. Sumida, & L. McClure (Eds.), *Teaching gifted learners in STEM subjects: Developing talents in science, technology, engineering, and mathematics* (pp. 223-241), Routledge.
- Taber, K. (2018). Knowledge Sans Frontières? Conceptualizing STEM in the curriculum to facilitate creativity and knowledge integration, K. S. Taber, M. Sumida, & L. McClure (Eds.), *Teaching gifted learners in STEM subjects: Developing talents in science, technology, engineering and mathematics* (pp. 1-19), Routledge.

ものづくりを中心とした学習の成果と課題 —小学校理科第5学年「リニア新幹線」の開通を目指して—

Learning Outcomes and Challenges Focusing on Manufacturing:
-Aiming for the Inaugural “Linear Shinkansen” in 5th Grade Elementary School Science Class-

水口 達也

Tatsuya Minakuchi

愛媛大学教育学部附属小学校

Ehime University Elementary School

【要約】 ものをつくるということは、子どもにとって非常に興味・関心が高い。また、ものづくりは試行錯誤の連続である。「どうすれば動くのか」「何が足りないのか」目の前の事象と既習内容を関係付けながら形にしていく。そして、形になったならば、それは大きな達成感とともに、学びの成果を視覚的に捉えることができる。このものづくりの魅力とリニアの魅力を掛け合わせた。リニアは、電流のはたらきによって磁力を持ったり、極の向きを変えたりすることができるといった電磁石の性質を分かりやすく捉えることができる。また、その性質を使って何かを動かすといった操作性に優れており、子どもは繰り返し、電磁石の性質に触れることができる。そうすれば、回転式モーターの仕組みが理解しやすく、電磁石が生活の中で多様に使われている理由や利便性が納得でき、理科を学習する有用感を持つことができるであろう。しかし、ものづくりにおいて、子どもの能力の格差や道具の種類、操作の難しさなど課題があり、丁寧に単元を構成し、より簡易な道具に改良していく必要性が出てきた。

【キーワード】 ものづくり、リニアモーターカー、操作性、学びの有用感

I. 問題の所在

小学校理科のものづくりは単元末に行うことが多い。学んだことを生かしてものをつくることで、学びの有用性を実感できるからである。また、ものづくりは子どもにとって興味・関心がとても高い。このものづくりの魅力と学習単元を融合させれば、子どもは「つくりたい」というより強い目的意識を持って、問題解決に取り組むことができるのではないだろうか。

また、どの学習でも、学んだことが実生活に生かされる、生かされていると子どもが感じることは大切である。学びの成果を実感することができ、さらに主体的に学ぶ態度を高めることができるからである。電磁石の一番身近な利用はモーターである。モーターの仕組みについては中学校の学習内容であるが、小学校の段階で、電磁石の性質によってモーターができていることを実感できなければ、生活へのつながりは弱くなってしまう。しかし、回転式モーターの仕組みを実感することは容易ではない。

そこで本研究では、リニア新幹線を動かすというものづくりを、単元の中心に位置づけることの効果を検討した。

II. 授業実践の目的・方法

1. 目的

ものづくりによって繰り返し操作する環境を整え、電磁石の性質に多く触れる場を保障することで、電流の働きの理解を深める。ものづくりの完成が学びの成果につながるとともに、リニアの学習を通して回転式モーターの仕組みを実感することで、学びの達成感や有用感を獲得し、学びに向かう主体的な態度を高める。

2. 方法

a. 教具（リニア新幹線）の開発

電磁石の性質を確認しながら、繰り返しリニアを動かすことができ、かつ、子どもが手作りできる教具を開発する。

b. ものづくりを通した単元構想

「リニア新幹線を動かす」という最終目標に向かってものづくりを行う中で、電流の働きについて学習できる単元を構想する。

Ⅲ. 授業実践の結果

1. 教具（リニア新幹線）の開発

教具を開発するに当たり、できるだけ実際のリニア新幹線に近付けたいという考えがあった。そのため、2027年開通予定の「リニア中央新幹線」を基本として、5年生の学習内容に特化した教具の開発に取り組んだ。ポイントは次の3つである。

- ① 本体を浮上させること。
- ② 本体に磁石を付けて、レール側から電磁石で動かすこと。
- ③ 電磁石の極の切り替えは、子どもが手動で行うこと。

まずは、新幹線を浮上させることに取り組んだ。レールと新幹線本体に磁石を付け、反発する力で浮上させようとした。様々な磁石や、リニア新幹線をおもちゃとして発売している企業の資料を参考にしながら試行を重ねた。結果、浮上して手で押せば進むことはできたが、本体に磁石を付け、電磁石で動かすまでには至らず、浮上は諦め、本体に車輪を付けて動かすこととした（図1、2）。



図1 車体の浮上



図2 車輪付きの車体

次に動かすための仕組みを考えた。リニア中央新幹線のように、ガイドウェイに取り付けられた推進コイルの電磁石の性質を使って動くことができるように、車体本体にネオジウム磁石を付け、その磁石をレール側に取り付けた電磁石によって、引き付け、反発して進むようにした（図3）。車体本体は子どもが作るものではなく、教師側が用意した。進ませるために本体のフォルムや重さ、タイヤの種類、磁石の強さなどの様々な要因があり、それを考えていく授業展開も考えられるが、今回はあくまで電流の働きを中心に考えさせたいため、その他の要因は極力排除するようにした。

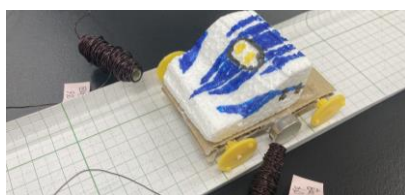


図3
動かす仕組み

電磁石の極を切り替えることで、車体を前に進ませるわけであるが、この切り替えこそが本実践の肝である。このしくみを子どもが理解し、何回も操作することで、電流の働きの理解を深めるとともに、回転軸モーターのしくみをより実感して捉えることができる。切り替えをするためのスイッチを開発した（図4）。①同士を押す場合と、②同士を押す場合とで流れる電流の向きが変わる。これは、回路を学習している4年生の内容の応用である。子どもが作る際には、流れる電流の向きの違いが視覚的に分かりやすいように、赤と青の導線を用いた。

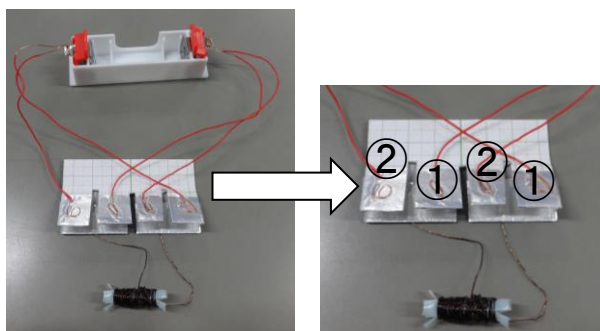


図4 スwitchの仕組み

しかし、実際に操作してみると、このスイッチの仕組みは、子どもにとって難しいものであった。その大きな理由は、このようなスイッチに慣れ親しんでいないということである。3年生のものづくりで取り扱うが、市販のキットで行う場合、厚紙を使ってアルミ箔を貼ったり、セロテープで導線をくっつけたりする経験ができない。結果、スイッチによってどこに電流が流れるのか捉えられなかったり、セロテープの上に導線を置いてさらにセロテープで固定したりするなど、電流の流れを意識できていない実態が散見された。＋極から電流が流れ、スイッチによって電流の向きを変えているということは分かっているが、それを具体的ににつなぐことができないのである。それは、スイッチが4つあること、上と下のスイッチの役割など、スイッチそのものへの難しさがあると感じた。しかし、このスイッチには、3、4年生の電流に関する学習内容がうまく融合されており、よい実践的復習となった。「動きません」とすぐに言ってきた子どもが、「セロテープも確認したし、エナメルが剥がれているか確認もしたし、導線のつながり方も合っているのに動きません」というように、動かない原因をいくつか解決できるようになっていった。

2. ものづくりを通した単元構想

「ものをつくりたい」という欲求と、その活動の過程で電流の働きについて学習できるように単元をデザインした（図5）。

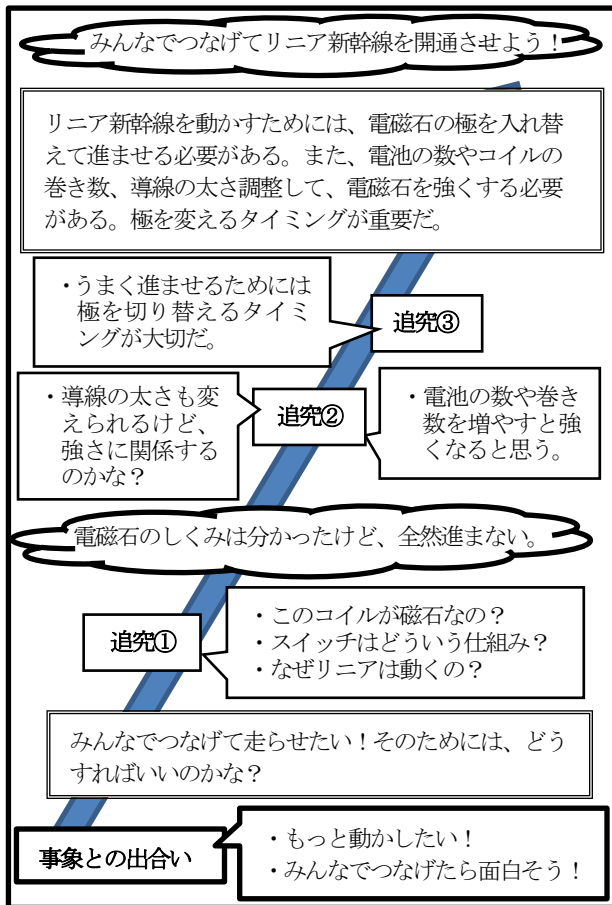


図5 単元デザイン（一部）

単元始めの事象との出会いでは、開発したミニチュアリニア新幹線を出し、グループごとに操作して問題を見いだすようにした。問題を見いだすには、子どもの欲求と疑問が表出されなければならない。操作そのものの難しさや電磁石の弱さが相まって少ししか動かない。子どもは「もっと動かしたい」「グループの4人でつなげてみたい」など、様々な欲求を見せた。また、「電池につなぐだけでなぜ動くのか」「コイルが磁石のようにになっている」など、疑問や気づきを表現していた。最終目標を、「ミニチュアリニア新幹線をみんなでつなぐ」とし、そのためにはどうすればいいか整理して、見通しを持った。

まずは、追跡①のリニア新幹線が進む仕組みである。予想の段階で、コイルが磁石のようにになっていることや極が変化していることなどの考えが出ていたため、そのことを確かめる実験を行った。そして、極を変え

ているスイッチの仕組みを考えた。先にも述べたようにこのスイッチについて考えることは難しかった。これまでの学習の積み重ねが大切で、子どもの実態がよく見えた。繰り返し指導したり、試行錯誤したりする中で理解していくことができたが、時間が必要である。

自分のスイッチと電磁石ができれば、試しに動かしてみたい。しかし、電池は1個でコイルは50回巻きなので動くはずがない。もっと強くするという追跡②が動き出した。ここでは、電池を2つにして電流を大きくすること、巻き数を増やしてみることにし、導線を太くしてみることに3つの予想が出され、実験していった。結果、電池2個、100回巻、太い導線で作った最強の電磁石を用いてリニア新幹線を動かす。しかし、まだ満足に動かない。子どもは、もっと巻き数を増やす、もっと導線を太くした。電池の数を増やすことは導線が熱くなることから危険なのでやめた。すると、細い導線で200回巻き、太い導線で150回巻き、極太の導線で100回巻きにすることで、十分動くという実証を得ることができた。しかし、動かさない子どもも多く、どうすれば満足に動かせるのか追跡③へ進んでいった。

リニア新幹線をよく動かすためには、「引き付ける→なにもしない→反発させる」といったタイミングが重要である。このコツをつかめば、10cm以上進ませることができる。この操作をすることで、電磁石の極を自分が変えていることを実感でき、十分に電磁石の性質に触れ、確かなものにすることができる。しかし、そもそも電流が流れず、リニア新幹線が動かないといったことがしばしば起こった。これには、以下のような改善が必要であると感じた。

- ① コイルそのものをもっと短くして、磁力をより端側に発生できるようにする。
- ② テープでとめているスイッチと導線が外れやすいので、クリップ等ではさむようにする。
- ③ 電磁石を固定するための台座を用意する。
- ④ レールの幅をもっと狭くして、本体のネオジウム磁石と電磁石の間を近付ける。

子どもが、「電磁石の導線を少し外側に引っ張り出せばよく動く」「リニア本体をできるだけ電磁石の方に近付ける」といったことに気付いていった。私自身ですら動かさないような距離を走らせていた子どもがいたため、より遠くへ動く余地があると感じた。なるべく簡単にリニアが動くように改良していく。

IV. 結果・考察

リニアを取り扱ったことと、ものづくりを中心として単元構想を行ったことで、2つの効果があったと考える。

1つ目は、電磁石の磁力の発生や強さを制限できること、極を変えられることといった、電磁石の性質への理解が深まったことである。教科書通りに進めると「強さ」に偏りがちである。ものづくりの中で試行錯誤したり、何回も現象に触れたりしたことで、強さだけではない、電磁石の魅力に浸ることができた。また、リニア新幹線を自分で操作することで、電磁石の極により注目できたと感じる。リニア新幹線を動かすためには、極の切り替えやタイミングが重要であり、自然と何回も試し、磁力の強さや切り替えを意識する。そして、目の前で実際に動くことで、五感を使った習得につながったと考える。

2つ目は、学ぶ意味や有用感を感じることができたことである。単元が終わった後、次のような感想を持っている子どもがいた。

- どんな感じで操作すればうまく動いてくれるかを考えながら授業を受けるのが一回、一回とても楽しかったです。また、リニアを動かす楽しい勉強をしながら電磁石のことについて学べるので、楽しいし賢くなるみたいな、一石二鳥みたいな感じでした。
- 私は理科の中であまり電気や磁石は得意ではなかったけれど、今回、何回も実験をしてみてどうすれば動くか考えて、実験に挑戦するのはとても楽しかったです。
- たくさんのコイルを作り何回も何回も実験をしたので、より深い考えを出すことができました。経験を積むことで、今まで分からなかったこと、不明に思っていたことが解決できるということも改めて実感しました。

自分で考え、試して、失敗して挑戦してというように自らの意思で活動できることに楽しさを感じている子どもが多かった。子どもが電磁石を自作していくので通常よりも時間は必要であるが、その分、電磁石への関わりは大きくなっていく。また、もっとスイッチやリニア新幹線に触れ、何回も動かす挑戦を積み重ねることができたなら、リニア新幹線をしっかり動かすことができたという達成感を味わうことができたであろう。ものづくりを通して学習する効果は十分にあると考える。

- コイルやリニア新幹線のしくみが分かったので、未来にリニア新幹線に乗る機会があれば、こんなしくみだったなと思えそうと思いました。本物のリニア新幹線が動くということは、どうにかしたら附属小のリニア新幹線も開通できるということだと思います。
- たくさんの実験をして分からなかった問題の正しい結果が分かったのでよかったです。次は、本物のリニア新幹線を見て、それに関わる人にいろんな情報を聞いてみようと思いました。

このように、実際のリニア新幹線へ関心を高めたり、次はこんなことがしたいという前向きな姿勢を見せたりするなど、学校の中だけの学習にとどまらず、生活や未来について思いをつなぐ姿勢は、まさに主体的に学ぶ態度が高まっているものであろう。

V. おわりに

子どもの「リニア新幹線をみんなでつなげて走らせたい」という願いは実現することができなかった。考えて努力したけど叶わないことはたくさんあり、当然のことであるが、何とか実現したい。本実践では、理科の学習内容である電流のはたらきだけではなく、リニア新幹線本体のこと、スイッチのことなど、電流以外の要因によってよく動くかどうか関わってくる。それらのことを総合してもものづくりをしていくことも可能であるが、理科の時数だけでは難しいし、発達段階として、そこまで多面的に考えることは無理がある。子どもが電流の働きに注力できるように、教材をできるだけ分かりやすく、簡易にしていけることで、より効果が大きくなっていくと感じた。教師が教えるだけの授業ではなく、子どもが活動しながら学んでいく、問題を見だし、学びをつないでいく授業をこれからも模索していきたい。

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。

東海旅客鉄道株式会社(2023), リニア中央新幹線

<https://linear-chuo-shinkansen.jr-central.co.jp/>
(令和5年2月28日確認)

高校地学「海洋の鉛直構造と熱塩循環」の実感を伴った理解のために

For understanding of high school geology“Ocean vertical structure and thermohaline circulation”

○佐藤栄治^{*1}, 中井芳恵^{*2}

SATO Eiji^{*1}, NAKAI Yoshie^{*2}

^{*1} 愛媛大学教育学部, ^{*2} 松山中央高等学校

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

【要約】高校の地学基礎「大気と海洋」では、海洋の層構造や熱塩循環を学ぶが、この現象を実験室で再現することは不可能であり、実験を行うことはほとんどない。今回、上層から熱源であたためる実験、上層にポリ袋に入れた氷を置いて冷やすという二つのモデル実験を海洋の鉛直循環と結び付けて説明させる授業を試みた。しかし、生徒のワークシートから、あたためられた水の挙動や冷やされた水の挙動の理解が不十分な記述も散見された。そこで、この授業で扱った二つの実験と水のあたためり方や冷え方に関する認識についての愛媛県内の高校生 445 名にアンケート調査を行い、その回答の一部を分析した。その結果、水を上方からあたためた場合、回答者の 26%が、対流が原因であたためた水が上方に集まると考え、14%が対流により水温が均一になると考えたという結果が得られ、「対流」に対して異なった理解をしている可能性が示唆された。現在、結果の解析を進めており、詳細については別に報告する予定である。

【キーワード】 みずのあたためり方 対流 深層水の循環

I. 問題の所在

教師の多くは、風呂を沸かすと底が冷たくかき混ぜて使用した経験を持ち、あたためた水が上層に、冷たい水が下層にあると容易に混ざらないことを経験的に知っている。しかし現在、給湯器がある家庭ならば、あらかじめ適温に調整されたお湯が供給され、上層と下層の水の温度差を感じることはない。

高等学校地学基礎では、海洋は表層からあたためられ、表層の混合層以外では、海水の上下動がほとんどなく、鉛直層構造を形成することや低温で塩分濃度の高い海水が沈み込み、深層を流れて長い年月をかけて湧昇する深層水の大循環について学ぶ。

実感をともなった理解を促すためには、この生活体験の不足を補う何らかの取組が必要であると考え、この単元において、モデル実験と自然現象を有機的に結びつけて実感的な理解を図る授業を試みたが、ワークシートの記述から、水のあたためり方を正しく認識していないと考えられる記述も散見された。

高等学校学習指導要領（平成 30 年度告示）解説によると、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」などの科学の基本的な概念等を柱にして、科学に関する基本的概念の定着を図るように丁寧に構成されていることが分かる。「もののあたためり方」は「粒子」領域で「粒子の持つエネルギー」として整理され、中学校では「状

態変化」や高等学校化学基礎の「熱運動の物質の単体」につながる領域として整理されている。

小学校 4 年生教育出版の教科書には「もののあたためり方」で、金属のあたためり方と水のあたためり方、空気のあたためり方を比較して「金属は熱せられたところから順にあたたまるが、水は熱せられたところから上の方に動いて順にあたためり、空気は水とあたためり方が異なる」ということを学ぶ。他方、中学校 3 年生では、熱伝導、対流、熱放射を「エネルギー」領域でも学ぶ。対流についての説明は各社で異なるが、様々なエネルギーのうち熱エネルギーとして扱っており、詳しく取り上げているわけではない。

今回扱った地学基礎「大気と海洋」は「地球」領域の「地球の大気と水の循環」として整理されている。この領域は主に気象に関する内容にあたり、熱の伝わり方や対流はこの領域の柱として位置づけられているわけではない。これは、地学が総合科学としての性格が強いからであろう。

相場ほか（2009）では、中学生の多くはあたためられた水が回転することで全体があたたまるという回転モデルで対流を捉えている誤認識があることを指摘している。また、萩野ほか（2014）では、小学校 4 年生の水への熱の伝わり方の概念形成について研究し、多くの児童が水の動きと熱の伝わり方は、別の概

念として認識していると推測できるとし、水への熱の伝わり方に関して全ての児童が科学的な概念を形成することは困難であったと述べている。

また、寺田ほか（2013）では、当時の教育学部理科専修学生を対象に「水のあたたまり方」に関する誤概念を調査して「上にある温度の低い水は下に動く」という現象を明瞭に観察できる実験器具の開発が必要であると述べている。しかし、小学校の教科書では「もののあたたまり方」は、実験等も行い比較的丁寧に扱うが冷たい水が下に動くことは文章で説明されているだけである。最近、漆畑ほか（2022）は、模型製作とアニメーション視聴によって対流の理解が深まることを示しているが、彼らの取組でもすべての小学生が正しい概念を形成したわけではない。

これらの先行研究からも、小学校4年生段階での対流の正しい概念形成は、容易でないことが分かる。しかし、その後対流について学ぶ機会がほとんどないことが生徒の理解にどのように影響するのか詳細な研究は見当たらない。そこで、愛媛県内の高校生を対象としたアンケート調査を実施して、水のあたたまり方冷え方についての認識について試行的に調査を実施することとした。

II. 研究の方法と結果

1. 対象と期間

A高等学校の地学基礎選択生徒を対象に、令和4年12月に授業を実施し、ワークシートの記述内容を分析した。また、県内の高等学校の生徒に協力してもらいオンラインによるアンケート調査を実施した。

(1) 授業実践

ア モデル実験の概要

(ア) 単元

大気と海洋 大気と海水の運動

(イ) 対象

高校2年生地学基礎選択者 22名

(ウ) 授業のねらい

海洋の深層循環のしくみをモデル実験で再現し、現実の深層循環をモデル実験の結果から実感を伴った説明ができるようにする。

(エ) 水温の変化の記録方法

データロガーDr.DAQ（Pico Technology 社）を用いて10秒ごとに8分間水温変化を水面付近と水底付近で、ビーカーにセンサーが接触しな

いように注意して水温変化を記録した。このデータロガーは自動的にグラフを作成する機能があり、各班の記録はロイロノート・スクールで共有した。

今回は、海洋の鉛直層構造と深層循環について、モデル実験を通して実感的な理解を得ることが主な目的であるため、次のa、bの二つの条件で行った実験について述べる。

生徒に配布したワークシートには水温変化の様子と水の移動について記載させた。

イ モデル実験の内容と結果

a 上からあたためる実験

(ア) 実験内容

図1のように、ビーカーの上部に熱源を置いて、A（上層）とB（下層）の水温を8分間測定し記録した。

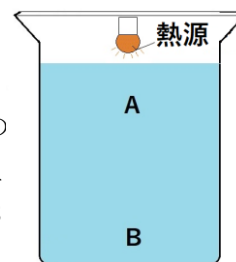


図1

(イ) 結果

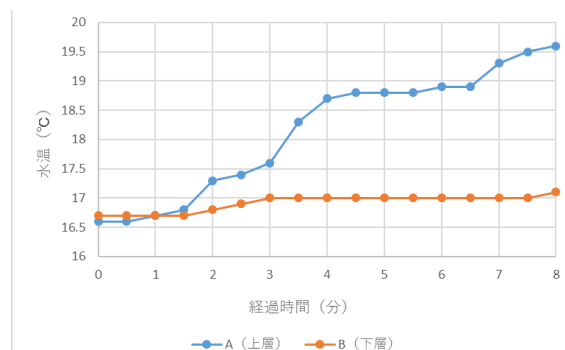


図2

図2より上層は水温上昇が明瞭に見られるが下層の温度上昇は極めて少ないことが分かる。

(ウ) 生徒のワークシートの記述

〈変化〉

- ・上層は水温上昇・下層は変化なし 16名
- ・どちらも同じように水温が上昇した 5名
- ・無答 1名

〈水の動き〉

- ・あり 0名
- ・なし 22名

上層・下層も同じように水温が上昇したと記述した生徒は下層のわずかの水温上昇に注目したと考えられる。水の動きについて質問したアンケートでは、22名全員が水の動きがないと答えた。

b 上から冷やす実験

(ア) 実験内容

図3のようにポリ袋に氷を入れて、水面に浮かべ、A（上層）とB（下層）の水温を8分間測定した。

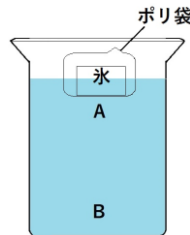


図3

(イ) 結果

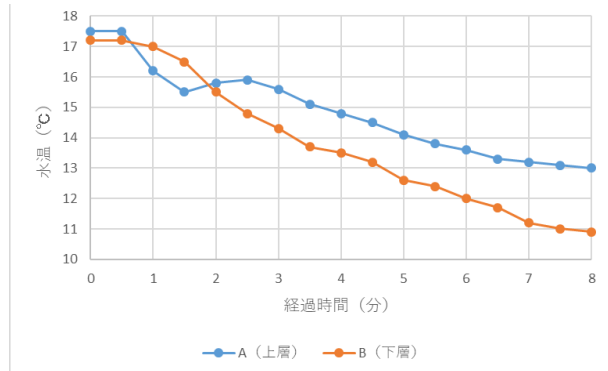


図4

計測開始直後は水温が安定しないが、しばらくすると下層の方が、水温が低い状態が保たれたまま水温が下がることが分かる。

(ウ) 生徒のワークシートの記述

〈変化〉

記述での回答を求めたため、「どちらも同じように温度が下がる」などA、Bを区別しない曖昧な記述が見られたので、授業者が個別に聞き取ったところ、22名全員が、上層より下層が早く冷えることを、データから読み取っていることがわかった。

〈水の動き〉

・あり 13名 ・なし 3名 ・無答 6名
水の動きについては、22名中3名が水の動きはないと答えており、無答の6名と合わせると、「水の動きがない」又は「意識しなかった」生徒の比率は41%にもなる。

(2) オンラインによるアンケート

ア アンケートの対象と方法

愛媛県内の高校生に理科の教員から呼びかけてもらい、Microsoft Forms を活用したオンライン回答をしてもらった。分析に用いた有効回答数は445名である。

イ アンケートの目的

あたためられた水や冷やされた水の動きについての生徒の認識を分析する基礎資料とする。

ウ アンケートの内容と結果

問1 上部から水をあたためる

(ア) 設問の内容

図5のように、熱源で300mL ビーカーに入れた水温20℃（気温20℃）の水を上部からあたためたとき、最初にA～Cのどれが最初に40℃になるとと思いますか。また、そう考えた理由は何ですか。

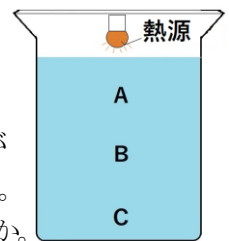


図5

(イ) 結果（回答数 445）

<回答内容>

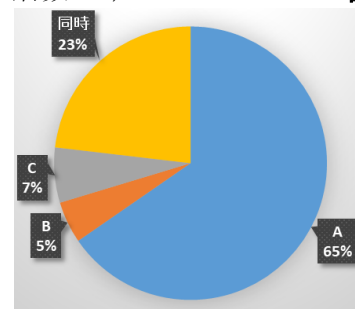


図6

<回答理由> 表1

	あたたまった水は対流し全体をあたためる。	ガラスがまずあたたまり水をあたためる。	あたためられた水は水面近くに留まる	その他
Aの理由	40% (117)	7% (20)	51% (149)	2%
同時の理由	62% (64)	25% (26)	12% (12)	1%

()内は人数を示す。

正答とした上層（A）からあたたまるという回答が全体の65%を占めており、良好な結果である。しかし、表1に示した回答理由も併せて分析すると、「あたためられた水は水面近くに留まるので表層が先にあたたまる」と理由も含めて適切な回答をした生徒は149名（正解者の51%、全体の33%）である。「対流して全体があたたまる」を理由に正解を選んだ生徒は117名（正解者の40%、全体の26%）である。

次に23%（102名）の生徒が選んだ「ほぼ同時にあたたまる」という誤答では64名（この答えを選んだ生徒の62%、全体の14%）が「対流して全体があたたまる」を理由としている。

問2 上部から水を冷やす

(ア) 設問の内容

図7のように、水温20℃（気温20℃）の水を入れたビーカーにポリ袋に入れた氷を浮かべたとき、最初に水温が10℃となったのはA～Cのどれですか。

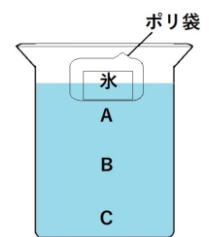


図7

(イ) 結果 (回答数 445)

<回答内容>

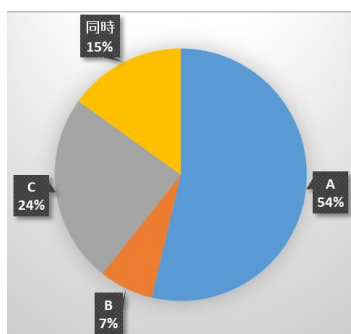


図 8

<回答理由> 表 2

	氷に近いところから順に冷える。	冷えた水は水温を維持しながら沈む。	冷えた水は全体の温度を下げながら沈む。	その他
A の理由	87%(209)	5%(13)	7%(17)	0%
C の理由	4%(4)	63%(68)	31%(33)	3%

() 内は人数を示す。

今回の授業実践でも、下層が先に 10℃に先に達した。温度計が氷に接触していない限り、C (下層) から冷える。しかし、表 2 からわかるように、氷に近いところから順に冷えていくと考える生徒が 445 名中 209 名 (全体の 47%) という結果であった。

問 3 氷のでき方について

(ア) 設問内容

野外にある淡水の池が凍るとき、最初に凍るのはどの部分でしょうか。

(イ) 結果 (回答数 445)

<回答内容>

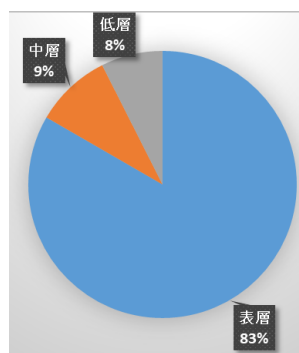


図 9

<回答理由> 表 3

表層から順に冷やされて水温が低い部分が広がっていく。	73% (269)
表層で水が冷やされた後、冷やされた水塊がそのままの水温を維持しながら、水底に沈む。	6% (21)
表層で冷やされた水は、水底に沈むが、ある温度以下となると表層に留まり冷やされる。	14% (53)
表層で冷やされた水は、沈みながら周囲の熱を奪い水温を低下させながら、沈んでいく。	6% (21)
その他	2% (7)

() 内は人数を示す。

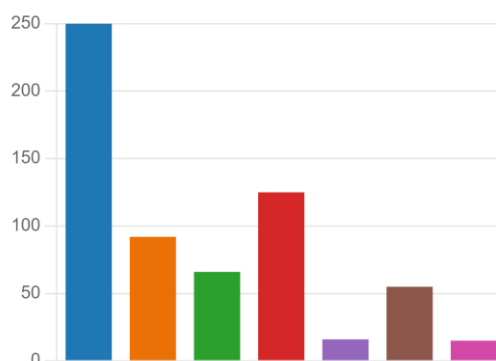
表層から凍ると答えた生徒は 83%に及び、非常に高い正答率であった。しかし、269 名 (正解者の 73%、全体の 60%) が「表層から順に冷やされて水温が低い部分が広がっていく」を理由として選んだ。水の密度が最も高い 4℃以下になれば、表層から順に冷やされるという答えも正しいが「表層で冷やされた水は、水底に沈むが、ある温度以下となると表層に留まり冷やされる」を選ぶ方が適切だと考える。

また、正解の A を選んだ理由として、その他を選んだ 9 名中 7 名が、実際に表面が凍っている場面を観察したことを理由として記述しており、自然体験の重要性を改めて感じた。

問 4 もののあたためり方の学び方について

(ア) 設問の内容

もののあたためり方については小学校 4 年生で学んでいます。そのときどのような方法で学びましたか。授業等で経験した学び方をすべて選んでください。(複数選択可)



黒板やホワイトボード等を用いた図での説明	251
サーモインクを用いて水や金属板を加熱する実験	92
おがくずなどの目印を入れた水を加熱して対流の様子を観察する実験	66
実験せず、動画等を見て学んだ。	125
実験や動画は見えていない	16
学んだ記憶はない。	55
その他	15

図 10

() 内は人数を示す。

Ⅲ. 考察

(1) 授業実験における生徒記述の分析

多くの生徒はわずかな温度変化に気を取られた記述はみられるものの、得られた記録からほぼ正確に実験結果を捉えている。

しかし、本授業は海水の鉛直分布や熱塩循環を学

んだ後に行った実験であることを考えると、bの上から冷やす実験で、水の動きがないと答えた生徒、水の上下動に言及していない生徒が全体の41%もいることは、授業の展開や実験の目的についての説明不足があったのかもしれない。

(2) アンケートの集計から予想されること

オンラインアンケートの問1では、正答したが「対流して全体があたたまる」と誤った理由を選んだ生徒が117名(全体の26%)もいた。同じ理由を選び誤答となった生徒は80名にも及び、対流に対して生徒の理解が不足している可能性も否定できない。

対流について、小学校4年生の教科書では「水は熱せられたところの水が上の方に動いて、上から順にあたたまる」(教育出版社)、中学校教科書では「気体や液体の物質を加熱した場合、あたためられた物質そのものが移動して、全体に熱が伝わる現象」(東京書籍)と説明している。どちらの説明も正しいが、理解が乏しい生徒にとっては正確に答えることが困難な場合もあるかもしれない。

また、オンラインアンケートの問2の「氷に近いところから順に冷える」という答えが最も多かったこと、問3も「表層から順に冷やされて水温の低い部分が広がっている」という記述が最も多いことから水が冷やされる現象に対流が深く関わっているという認識がないと熱伝導の考え方を適用してしまう可能性があるかもしれない。

IV. おわりに

水の対流について、詳しく学ぶのは小学校4年生でのみであるが、伝導や体積変化など多く内容も同時に学ぶ。また、中学校3年生でもエネルギー変換の一部として学ぶが、対流を詳しく学ぶわけではない。

また、対流を最も詳しく学ぶ小学校4年生においては、サーモインク又はおがくずを入れた実験を体験した生徒はアンケート対象生徒の1/3程度であった。対流が日常生活の中で実感的に学ぶことができる現象とは限らないことを意識しなくてはならないのかもしれない。

今回の授業実践やオンラインによる調査は十分とは言えないが、問1の上部から水をあたためたとき、「対流して全体があたたまる」ことを理由として、「上層(A)からあたたまる」という正解と「全体が同時

にあたたまる」という不正解を導いた生徒が少なくないことは、対流についての理解が不足している可能性を否定できない。

本稿で用いたアンケート調査の設問の仕方や方法を含めて再検討するとともに、聞き取りも含めて、さらに詳細な調査を行いたい。対流についての理解に不十分なところがあれば、当初目的とした、「大気と海洋」をモデル実験と併用して実感的な理解を促す学習プログラムの開発において、配慮すべき事項となる可能性がある。より優れた授業展開が提案できるよう今後も研究を進めたいと考えている。

付記・謝辞

本研究は、令和4年度高等学校ICT活用授業改善推進事業の授業実践(愛媛県教育委員会)での実践の一部を活用させていただいた。また、アンケートは愛媛県高等学校教育研究会地学部門を通して愛媛県内の多くの生徒の皆さんに協力していただいた。また、愛媛大学佐野栄教授には粗稿を読んでいただき、有益な御指導をいただいた。これらの方々に心より謝辞を申し上げる。

文献

- 相場博明・柊原礼士(2009):小学校4年生「水のあたまり方」における誤概念と「サーモインク」教材の有効性, 理科教育学研究, Vol.49 No3
- 萩野伸也・久保田善彦・桐生徹(2014):小学校4年生の水への熱の伝わり方の概念形成に関する事例研究—「ものの温まり方」単元における概念の関連から—, 理科教育研究, Vol.55.
- 教育出版(2014):未来をひらく小学理科4
- 文部科学省(2019):高等学校学習指導要領(平成30年告示) 解説 理科編 理数編.
- 漆畑文哉・吉田淳・平野俊英(2022):模型製作とアニメーション視聴による熱移動の理解を促す表現支援の効果—小学校第4学年理科「物の温まり方」における対流現象の解釈を例に一, 科学教育研究, 41 巻 2号 p174-186
- 東京書籍(2021):探究する新しい科学3
- 寺田光宏・中嶋健二(2013):小学校4年生理科「水のあたまり方」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