

子どもたちと一緒に成長する 共生型 STEAM 学習のためのロボット 〈Toi〉

Robot “Toi” for Symbiotic STEAM Learning that Changes with Children

本所 然^{1*} 三宅 将吾¹ 長谷川 孔明¹ 岡田 美智男¹
Nen Honjo,¹ Shogo Miyake,¹ Komei Hasegawa,¹ Michio Okada¹

¹ 豊橋技術科学大学 情報・知能工学系

¹ Department of Computer Science and Engineering, Toyohashi University of Technology

Abstract: 生き物らしさや社会性を伴う「ソーシャルなロボット」が子どもたちの教室に入り込んだら、そこでどのような関わりや学びを生み出すのだろう。本研究では〈弱いロボット〉の概念を教育分野に応用する試みとして、ロボットの組み立てやプログラミングに留まらず、教室の中で生活を共にしながら、一緒に成長するような共生型 STEAM 学習のための〈Toi〉を提案するとともに、小学校等でのフィールドワークの観察結果を報告する。

1 はじめに

「ソーシャルなロボット」と子どもたちとの関わりは、非常に興味深いテーマである。好奇心旺盛な子どもたちはロボットを見ると目を輝かせ、その動きや仕組みに積極的に関心を示す。ロボットと触れ合いながら試行錯誤を繰り返す子どもたちの姿は、ピアジェが「小さな科学者」[1]と表現したように、自ら学び、探究しようとする姿勢そのものと言える。このように、ロボットは子どもたちにとって魅力的な存在であり、主体的な学びを引き出すきっかけとなる可能性を秘めている。

筆者らはこれまで、生き物らしさや社会性を備えた「ソーシャルなロボット」として、〈弱いロボット〉の提案を行ってきた[2]。〈弱いロボット〉は、自らの力だけでは十分な力を発揮できず、人の助けを必要とする関係論的な存在である。そのため、子どもたちが自然に関わりを持ち、助けたいという気持ちを引き出す特性を備えている。この〈弱いロボット〉の概念は広く受け入れられつつあり、例えば文部科学省の検定に合格した教科書の一部では〈弱いロボット〉がテーマとして取り上げられている。このような背景は〈弱いロボット〉を学びの場に取り入れる際の手掛かりとなる可能性がある。

この〈弱いロボット〉が学びの場に入り込むことで、技術的な学びだけに留まらず、子どもたちの優しさや

共感、助け合いといった「人間らしさ」に繋がる情緒を育むことが期待できる。

また、ロボットと共に生活することで、単なる教材の枠を超え、ケアや改良を通じて子どもとロボットが共に成長する関係を築けるかもしれない。さらに、ロボットを介することで子どもたち同士の交流が活性化し、コミュニティ全体として成長することも考えられる。

本研究では、このような〈弱いロボット〉の概念を教育分野に応用する試みとして、ロボットの組み立てやプログラミングにとどまらず、教室内で子どもたちと共に生活しながら成長するロボット〈Toi〉を提案する(図1)。また、実際に小学校で行ったフィールドワークを通じて得られた子どもたちの印象評価や学びの効果、教育現場の教員へのインタビュー結果を基に、〈Toi〉が教育現場に与える影響について議論する。



図 1: 〈Toi〉とのインタラクション

*連絡先: 豊橋技術科学大学 工学部 情報・知能工学科
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1
E-mail: honjo.nen.vd@tut.jp

2 研究背景

2.1 教育の ICT 化

2020 年以降、文部科学省による GIGA (Global and Innovation Gateway for All) スクール構想 [3] が推進され、小中学校では児童・児童 1 人に 1 台の端末が提供されるようになった。この構想では、「1 人 1 台端末」の早期実現や家庭で利用可能な通信環境の整備を含む、ハードウェア・ソフトウェア・人材を一体化した環境づくりが目指されている。これにより、災害や感染症の発生による学校の臨時休業時にも、ICT を活用してすべての子どもたちに学びの機会を保障することを目的としている。ICT の教育への統合は児童のエンゲージメントを高め、個別化された学習体験を促進し、学習成果を向上させることがわかっている [4][5]。一方で、教育の ICT 化にはいまだ多くの課題が残されている。技術的なインフラ整備が進む一方、教員の ICT 活用能力の向上やデジタル教材の質の確保といったソフトウェア面の充実も求められている [6]。

2.2 STEAM 学習

こうした状況の中で、注目を集めているのが STEAM 学習である。STEAM 学習とは、科学 (Science)、技術 (Technology)、工学 (Engineering)、芸術・リベラルアーツ (Arts)、数学 (Mathematics) の 5 つの領域を統合的に学ぶ学習理念であり、従来の STEM 教育に Arts (芸術教育) を融合したものである [7]。これは理科学的思考に芸術的思考を融合することで、創造的思考力を備えた全人的な育成ができる、としたものである。その特徴は、「知る (探究)」と「つくる (創造)」のサイクルを通じて、分野を超えた学びを促進する点にある。また、STEAM 学習は、課題を自ら発見する力、クリエイティブな発想で物事を多面的に捉え解決する力、新しい価値を創造する力を育むことを目的としている。しかしながら、STEAM 学習の実践場面では、芸術活動が児童の学習意欲を高めるための補助的な役割として用いられており、科学教育と芸術教育の相互関連性を深めるまでには至っていないという指摘もある [8]。また、STEAM 学習を学校教育に導入するためには、STEAM の科学 (S) や技術 (T) の活動に関して、一部の課題例に限られている点、STEAM 学習の特徴である社会的な実装への試み (エンジニアリングによるプロトタイプ化) に達さず表現 (A) の活動に留まっている点、数学 (M) の学びが十分活用されていない点など、いまだ多くの課題が残されている [9]。

一方で、STEAM 学習にロボットを使用した事例では、ワークショップなどの限定された状況において効果

的であるとの報告もある [10]。ただし、ワークショップ等における参加者はテーマに関する一定の興味を持っていることが前提であり、学校教育の場における実践事例も少ないことから、同様に効果的であるかは定かではない。そこで、本稿では人との関わりを志向した〈弱いロボット〉を STEAM 学習に取り込んだ実践例を通じ、これまでの効率的な学習とはまた異なる方向性の学習デザインの可能性を議論する。

2.3 関係論的なロボットと学習

筆者らは〈弱いロボット〉と呼ばれる関係論的なロボットの研究を行ってきた [2]。〈弱いロボット〉とは、他者との社会的相互行為の中から生まれる能力に着目し、他者からの手助けを引き出してしまう設計やデザインを備えたロボットのことである。〈弱いロボット〉の例として、自身ではゴミを拾うことができないが周りの人の手助けを借り、ゴミを集めてしまう〈ゴミ箱ロボット〉 [11] や、拙い発話によって人から会話の手助けを引き出す〈Muu〉 [12] などがある。このように〈弱いロボット〉は周囲の人と空間・場や会話を共有しながら程よい距離感で関わることを志向してきた。

この〈弱いロボット〉を STEAM 教育へ応用する際には、二つの観点が重要になると考えられる。一つ目は、〈弱いロボット〉の生き物らしさやかわいらしいデザインによる愛着感と継続的な学びである。機構の一部にバネを用いることにより動作時に身体がよたよたと揺れるバイオリジカル・モーションや、外観、振る舞いをかわいらしくデザインすることにより、まるで生き物を育てるかのように愛着心を持ち、主体的に学び続ける可能性を有している。

二つ目は、〈弱いロボット〉の研究手法がそのまま継承されている点である。筆者らの〈弱いロボット〉研究は一貫して構成論的なアプローチがとられてきた。つまり、人と〈弱いロボット〉の関係を構成 (実装) しながら理解・研究するのである。教育の場では、子どもたちは、〈弱いロボット〉について国語の教科書で学ぶだけでなく、実際に手を動かして構築することを通じて理解するという、構築主義的な学び [13] に繋げることができるのである。自然と人の助けを引き出すにはどのような振る舞いのデザインや見た目のデザインを行えばよいかを子どもたちがロボットを作る中で考えることは、技術的な学びにとどまらず、ロボット制作を通じて人の心について考えることにもつながる。これは LEGO 社のレゴ・マインドストーム [14] やヴイストン社のビュートローバー [15] といった従来のロボット教材においてはなかった要素だと考えられる [16]。

本研究では、このような〈弱いロボット〉として〈Toi〉を実装し、学校教育の場において実施したフィールドワークにより、その特徴を明らかにする。

3 共生を志向するロボット〈Toi〉

3.1 コンセプト

本研究で提案する〈Toi〉(図2)は、人の背骨をモチーフにしたデザインになっている。〈Toi〉は「ソーシャルなロボット」として、(a) 外界の情報をセンサで取得しそのデータを反映させながら意思決定を行う(=「自律性」)、(b) 周囲の人に対して内部状態や意志を社会的に表出する機能を備える(=「社会性」)、(c) 周囲の人の邪魔にならずにうまくその空間に入り込める(=「社会的受容性」)などの主要な要素を備えている。これにより、最初は「なんだコイツは?」と興味を持つところから始め、インタラククションを通し、同じ空間で生活していくことで子どもと〈Toi〉が共に成長・進化していく関係性を目指す。また、〈Toi〉は子どもたちによる〈弱いロボット〉制作のための骨格となる。〈Toi〉はセンサモジュールや外装デザインが拡張できるように設計されており、子どもたちのアイデアやレベルに合わせた学習を提供することができる。また、動作制御にビジュアルプログラミングを用いることが可能であり、振る舞いのデザインを通じてプログラミングを楽しみながら学ぶことを目指す。このように〈Toi〉のインタラククションデザインは固定化されたものではなく、子どもたちに寄り添い共に変化していくものであるといえる。

3.2 ハードウェア構成

〈Toi〉の基本となるハードウェア構成を図2に示す。〈Toi〉はMDF(中質繊維材)と呼ばれる合成木材製のパーツから構成されている。先述のように、〈Toi〉は子どもの創意工夫や遊び心によって変化していくことをコンセプトとしているため、基本となる筐体はフレームだけで構成されている。ロボット上部にある3層のフレーム間はスプリングで結合されており、移動に合わせてヨタヨタと揺れることでバイオリジカルモーション[17]を実現している。また、最上段のフレームの前後には紐が結び付けられており、巻取り機構で紐を巻き取ることでスプリングで連結された上体を前後に傾ける(お辞儀や見上げ動作に該当)ことが可能である。

下部には駆動用のサーボモータが搭載されており、〈Toi〉の移動を可能にしている。左右のサーボモータ間には制御マイコンとしてmicro:bitとその拡張基板が配置されており、各種アクチュエータやセンサ類の制御を行う。また、〈Toi〉の背部にはモバイルバッテリーが2本搭載されており、micro:bitやアクチュエータへの給電を行っている。

また〈Toi〉にはセンサ類を固定するための取り付け孔が多数あけられており、子どもたちのアイデアに応じてセンサなどを組み合わせることでロボットをデザインしていくことができる。使用可能なセンサ一覧を図3に示す。

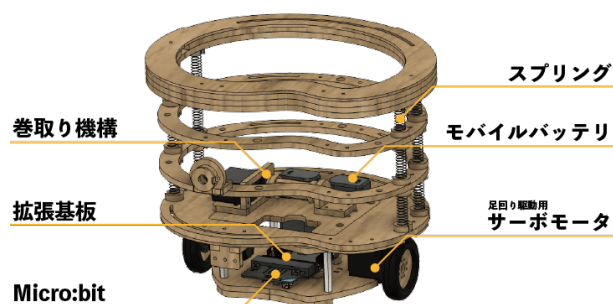


図2: ハードウェア構成



図3: 使用可能なセンサ例

3.3 ソフトウェア構成

〈Toi〉の制御には、イギリスのBBCが主体となって開発されたマイコンであるmicro:bit(図4)を用いている。micro:bitはビジュアルプログラムによって制御を行うことができるため、小学校高学年でも比較的容易に取り組むことができる。〈Toi〉のプログラミングに使用する開発環境では専用のブロックを用意している。具体的には、〈Toi〉のアクチュエータを制御するブロックやAIカメラを制御するためのブロックなどである。

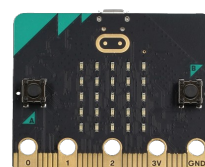


図4: 制御マイコン micro:bit

4 ワークショップデザイン

本章では、〈Toi〉を用いたワークショップ（以降、〈Toi〉ワークショップ）の基本となるデザイン方針を述べる。〈Toi〉ワークショップではグループワーク形式を採用しており、一台の〈Toi〉に対して4～5名の子どもたちがチームとなり開発を行う。また、各チームに活動の補助を行うファシリテーター（facilitator）[18]が一人つくことで活動を円滑に進められるように手引きを行う。〈Toi〉ワークショップでは対象が小学校児童ということもあり、ファシリテーターは議論の際の橋渡し役や技術的な不足を補う役など重要な役割を果たす。ただし、あくまでも「支援」であり、子どもたちの主体性や気づきを掘り取りながら進行することを徹底した。

〈Toi〉ワークショップは、ハードウェア制作、ブレインストーミング、ソフトウェア制作、振り返り・まとめ、共生の5つから構成されている。以降の節でそれぞれを詳述する。

4.1 ブレインストーミング

〈Toi〉ワークショップでは、子どもたちが様々なアイデアを持ち寄れるようにブレインストーミング[19]（以下、ブレスト）を実施する。ブレストは、アレックス・F・オズボーンが提唱したアイデアを出すための討議法の一つであり、複数人であるテーマについて自由奔放に意見やアイデアを出しあう会議形式の一種である。ビジネスシーンのプロジェクトでの案出しをはじめ広く活用されている。オズボーンによれば、ブレストは次に示す4つの一般原則が定められている。

- (1) 批判厳禁：どんな意見が出てきても、良い悪いの批判をしない。
- (2) 自由奔放：自由奔放な発想を歓迎する。
- (3) 質より量：アイデアの量が多ければ多いほどいい。量が多いと質の良いアイデアが生まれる。
- (4) 結合改善：出てきたアイデアの改善と結合を求める。

〈Toi〉ワークショップにおいてもこの原則に則り、具体的な実施方法についてはその時の参加者や各自のファシリテーターに任せている。ただし、必ず模造紙を一枚机の中央に用意しており、各自がペンなどで書き込みながら自らの意見を整理したり、他者に伝える時の補助に利用することを推奨している。

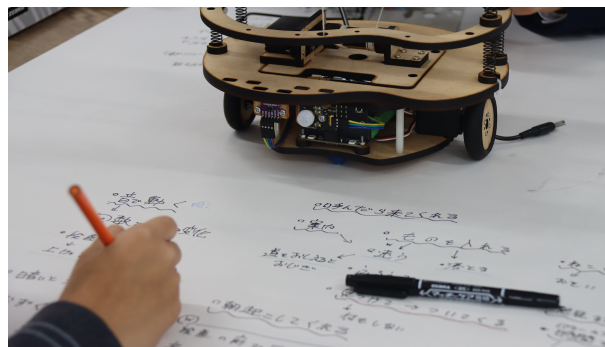


図 5: ブレインストーミングの様子

4.2 ハードウェア制作

〈Toi〉の基本となるパーツはMDFという板材をレーザー加工機で加工されている。ワークショップではパーツは取り外さず板の状態で準備している（図6）。これは、準備を行う際の取り回しの良さやパーツの紛失を防ぐという運用上の都合である共に、加工の際に出る端材が子どもたちの創意工夫を引き出す役割を果たしている。子どもたちは本来は不要な端材を面白がり、ロボットに取り付けて本体の一部にしてしまうことも多い。

組み立ては、木工用ボンドを用いた木材パーツの接着、結束バンドを用いたスプリングの固定などの比較的容易な作業から始まり、次第にネジを使用した固定、サーボモータやセンサの結線など難易度が高くなっていく。また、ワークショップでは組み立て方法を記した資料を配布しており、子どもたちだけでも〈Toi〉が組み立てられるように配慮した。

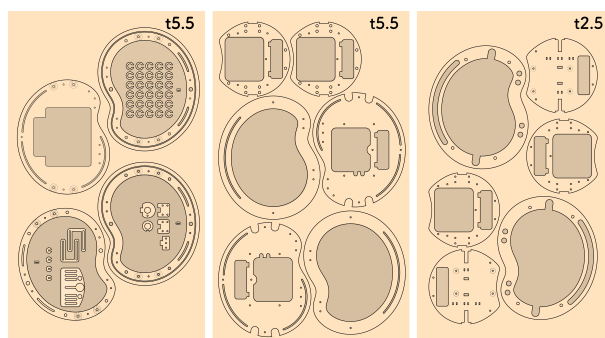


図 6: MDF ボード

4.3 振る舞い制作

〈Toi〉ワークショップでは、「〈Toi〉の可愛い動作を作ろう」というテーマでプログラミングを行う。これは一般的なプログラミングワークショップとは異なり、他者との競争や正解が存在しないテーマ設定となっ

ている。そのためチームメンバーと持ち合わせている知識・技術を持ち寄り意見を出し合いながらプログラミングを進めていくことが求められる。ただし、何も無い状態からいきなりプログラミングを始めるわけではなく基本となる動きを集めたプログラム例（以後、アセット）を多数用意しており、子どもたちはそれらを参考にしたり組み合わせることを通じて少しずつプログラミングに取り組んでいく。ワークショップでは様々なアセット、センサ、プログラム上の注意点等を記した資料を配布しており、可能な限り理解しやすい表現を心がけている。

4.4 振り返り・まとめ

内容のまとめと振り返りを目的として他グループに向けた発表を実施している。ここでは、ワークショップでの議論や学んだことを一度整理し、チームで実装した〈Toi〉についてプレゼンテーションを行う。また、他チームの発表を聞くことで自チームにも取り込むことができるアイデアや技術が得られた場合には、それらを次の実装に活かしながら実装を進めていく。〈Toi〉ワークショップではテーマ設定の性質や〈Toi〉の実現可能な範囲の都合から、ロボットの振る舞いに独自の解釈を加える様子や背景となる物語や振る舞いの意味を説明する様子が見られる。

4.5 共生

〈Toi〉ワークショップ最大の特徴は、ワークショップデザインにロボットと共に生活する期間が組み込まれていることである。一般的に、ロボットを用いたSTEAM学習ではより効率的にプログラミング等のテーマについて学ぶような学習デザインが行われる。このような場合、ロボットの役割はあくまでも子どもたちがプログラミングを学ぶための道具（教材）であり、一度ワークショップや授業が終わってしまえば、子どもたちの興味はあっという間に失われてしまうだろう。一方、〈Toi〉ワークショップでは〈弱いロボット〉を用いることで、プログラムを学ぶために〈弱いロボット〉を用いるのではなく、〈弱いロボット〉と関わりをデザインするためにプログラムを学ぶという逆転が起きる可能性がある。これにより、子どもたちは学ばされる姿勢から、主体的に学習を行う姿勢へと変化するのではないだろうか。

5 フィールドワーク

5.1 目的

本フィールドワークの目的は、弱いロボット〈Toi〉をSTEAM学習へ応用した場合の影響の調査及び、共同生活期間を経てどのような影響を及ぼすかの調査を行うことである。具体的には、子どもたちが〈Toi〉を組み立て、「可愛い動き」の制作を行うことで学びながら創造的思考力を高めることが狙いである。

5.2 フィールドワーク1（共同生活期間あり）

5.2.1 概要

本フィールドワークは愛知県岡崎市小豆坂小学校で実施した。実施期間は2024年6月18日から2024年8月9日までの約2ヶ月間である。対象は小豆坂小学校5年生の1クラスで、36名が参加した（うち、有効データ数は34名）。グループ構成は8グループで、各グループに児童4-5名を割り当てた。フィールドワーク期間中、6月18日および7月9日の小学校の「総合的な学習の時間」にワークショップを実施した。

第1回ワークショップでは〈Toi〉の組み立て、プログラミング（振る舞いの作成）、および発表会を行った。第2回ワークショップではプログラミング、相談会（ハードウェア、ソフトウェアに関する質疑応答やトラブルシューティング）、および発表会を実施した。第1回の実施時間は4時間、第2回は1時間半であった。

5.2.2 フィールドワークの流れ

本フィールドワークでは事前に5年生の国語の教科書で〈弱いロボット〉をテーマにした授業を受けている。流れとしては、第1回では属性調査アンケート、ハードウェア組み立て、ブレインストーミング、可愛い動きの制作、実演発表・レビュー、アンケートを行ってもらった。第2回では可愛い動きの制作、相談会（ハードウェア、ソフトウェアに関する質疑応答やトラブルシューティング）、実演発表・レビュー、アンケートを実施した。本フィールドワークの具体的なタイムスケジュールを示す。

5.3 分析手法

本実験では、半構造化インタビューの結果に対する質的分析を行う。質的分析は質的分析は、言語記録を分析することで結論を得る研究である。その手法はいくつか開発されており、最も広範に用いられる手法が、グレイザーとシュトラウスが確立したグラウンデッド・

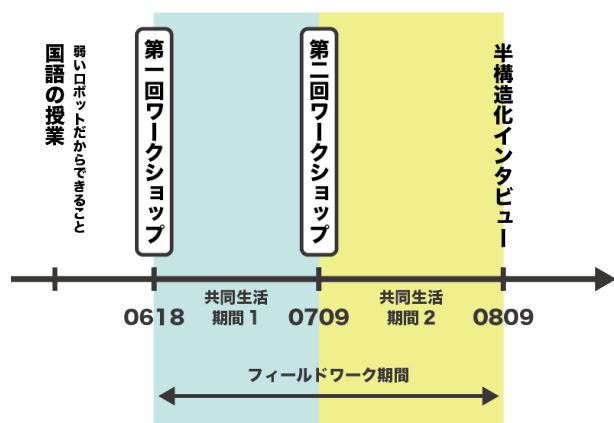


図 7: スケジュール

セオリー・アプローチ (GTA)[20] である。この手法は、データ採取から理論化までの研究デザイン全体を規定するフレームワークであり、あらゆる領域で世界的に用いられる優れた手法である。しかし、この手法は大規模のデータと長い研究期間を要するため、本実験の分析に用いることは難しい。そこで、本実験では、比較的小規模なデータにも適用可能な SCAT(Steps for Coding and Theorization)[21] を分析手法として採用した。SCAT では、マトリクスの中にセグメント化したデータを記述し、それぞれに、

- (1) データの中の着目すべき語句
- (2) それを言い換えるためのデータ外の語句
- (3) それを説明するための語句
- (4) そこから浮き上がるテーマ・構成概念

の順にコーディングしていく 4 ステップのコーディングとテーマを記述し、そこから理論を記述する手続きからなる分析手法である。ストーリーラインは、ステップ (4) のコードを、意味のつながりをもたせて一筆書きのように一筋につないだものである。コード間のつながりを吟味することで、ステップ (4) では見えてこなかった潜在的な意味を見出し、再文脈化を行っている。また、ストーリーラインを断片化することで理論記述が完成する。理論記述により導き出されるのは、普遍的で一般的に通用する原理のようなものではなく、「このデータから言えること」である。本論文では、紙面の都合により分析手順 (1) から (4) を割愛し、ストーリーラインおよび理論記述を提示する。

5.4 半構造化インタビュー

フィールドワークの目的を果たすためには、実験者が直接観察することの難しい小学校における共同生活

の様子を調査する必要がある。そこで、小豆坂小学校の A 教員に対して半構造化インタビューを実施した。教員 A はフィールドワーク参加クラスの担任であり、理科などの科目を教えている。

以下に、インタビュー項目を示す。

インタビュー 1：教員 A の立場から本フィールドワークに関わっての感想

インタビュー 2：第一回ワークショップに至るまでの背景と第二回ワークショップ前までの共同生活期間における子どもたちの活動の様子

インタビュー 3：第二回ワークショップからインタビュー日（8 月 9 日）までの共同生活期間における子どもたちの活動の様子

インタビュー 4：小豆坂小学校で取り組まれている教育方針と STEAM 学習

5.5 SCAT の分析結果

インタビュー 1 の分析から得られたストーリー 1 は以下の通りである。

5.5.1 インタビュー 1 の分析

ストーリーライン 1

教員 A は、【新たな教材〈Toi〉を用いた指導に対する不安】を感じ【手探り状態での活動開始】となったが、活動を通して【子どもたちの能力が発揮】されることで【ブームとして認識】するに至った。また、【ロボットのソーシャルメディア的役割】により【チーム内の結束力が向上】し、【教員に頼りすぎない自律的な活動】が引き出された。現在は【子どもたちからの積極的な働きかけ】に応じて【課外活動としての時間を確保】して〈Toi〉の制作・プログラミング等を行っており、子どもたちの間で【計画性、役割意識、規範意識が醸成】されている。また、教員 A は【技術的要素に対する理解の不完全性】から〈Toi〉プロジェクトへの【指導に関するパラダイムシフト】が生じ、【「教え導く立場」から「学びを見守る立場」への変化】が生じた。さらに、子どもたちは活動の中で生じる問題に対して【資料を用いた主体的な学びや試行錯誤】により、教員 A の【想定を超える力を発揮】した。

ストーリー 1 から導かれた理論記述を以下に示す。

理論記述 1

- 1-1 【新たな教材〈Toi〉を用いた指導に対する不安】は、活動を通して【子どもたちの能力が発揮】されることで緩和され、子どもたちの【ブームとして認識】するに至った。
- 1-2 【ロボットのソーシャルメディア的役割】により【チーム内の結束力が向上】するとともに、子どもたちの積極性が引き出されることで【計画性、役割意識、規範意識が醸成】された。
- 1-3 教員 A が【「教え導く立場」から「学びを見守る立場」へ変化】したことで、子どもたちの【資料を用いた主体的な学びや試行錯誤】が引き出された。

5.5.2 インタビュー 2 の分析

インタビュー 2 の分析から得られたストーリー 2 は以下の通りである。

ストーリーライン 2

小豆坂小学校では、【学校行事として見学に訪れた兄弟からの間接情報】により、【〈弱いロボット〉に関する一定の認知度】を有している。このような背景から事前に行われた国語授業「〈弱いロボット〉だからできること」では【テーマに関する子どもたちの関心は高く】、また【普段は行わない映像紹介を中心とした授業】により特別授業に対する【子どもたちの興味やモチベーションを引き出された】。第一回特別授業について、教員 A は【小豆坂小学校でのチーム学習の取り組み】を踏まえ、【グループ（ファシリテーター 1＋児童 4）で活動を行う形式】による【参加度の向上を評価】した。【普段消極的な児童に対しても豊富な参加機会が提供】されることや、【見るだけでなく「触って実際に作る」体験】による【構築主義的な学習活動】を通して【エンゲージメントが発現】した。また内容については【難易度の高さ】を指摘しつつも、【ファシリテーターの手助けにより達成可能という「発達の最近接発達領域」的な認識】を持った。【第一回特別授業時点では方向性が不透明】であったが、「日常的なプロジェクト活動を通して問題点が顕在化】した。浮かび上がった問題点に対し、【試行錯誤と失敗を繰り返す中で次第に方向性が明確化】し、【第二回特別授業における学びの促進】につながった。また、【活動を通して思考する機会が提供される】ことで【教員と児童が一緒に試行錯誤する「並ぶ関係」へと変化】した。活動の中でブレイカーが落ちるハプニングが生じた際には、【失敗として終わりにせず運用方法を工夫】することや【他教科の学びへと発展】させることなど【付随活動にも教育的価値が発生】し、それらが【教育環境における子どもたちの喜びや情熱】につながった。

ストーリー 2 から導かれた理論記述を以下に示す。

理論記述 2

- 2-1 小豆坂小学校では、過去に【学校行事として見学に訪れた兄弟からの間接情報】により〈弱いロボット〉に関する認知度が高く、映像を中心とした授業によって【子どもたちの興味やモチベーション】が引き出された。
- 2-2 チーム学習や構築主義的学習などの要素によってエンゲージメントが発現すると共に、ファシリテーターの手助けによって最近接領域的な学びが展開された。
- 2-3 日常的な活動から生まれる付随活動には他教科への発展可能性があり、【教員と児童が一緒

に試行錯誤することで「並ぶ関係」への変化】が起きた。

5.5.3 インタビュー 3 の分析

インタビュー 3 の分析から得られたストーリー 3 は以下の通りである。

ストーリーライン 3

第二回特別授業では、【AI カメラなど高度な要素の追加】により【子どもたちのモチベーションの向上が主体的な学びを引き出した】。その中で教員 A は子どもたちの活動を傍で観察し、時には【子どもたちからも教えてもらうことで「共に学ぶ関係」へと変化】した。子どもたちは【〈Toi〉に対する擬人的認識や愛着感】を持つようになり、【クラスの一員としての仲間意識】が形成された。「中学校まで一緒に行きたい」と話す児童のエピソードからも、愛着心や共生意識が見られる。プロジェクトに参加している児童は、〈Toi〉と日々時間を共有しながら開発や装飾に取り組んでいることから強い愛着意識が醸成され、他者に共有したいという欲求も生まれた。休み時間にはロボットの「かわいらしさ」から繰り返し見学に訪れる他クラスのファンも現れ、〈Toi〉を中心としてクラス間交流が促進されている。教員 A は子どもたちが【〈Toi〉に対して持つ愛着心】や【「悪さができる対象ではない」という安心感】から【自由な活動を尊重】しており、【自主性やルール遵守の精神が養成】されたことで【子どもたちに委ねることの重要性】を認識した。活動は基本的には毎日 2 回程度実施している。また活動の中では、【班同士で影響を及ぼし合う】ことで〈Toi〉の【外観が変遷】し、【協同的な活動の中での衝突】を通して【情緒的教育の機会を得た】。またチームでの活動は【他人任せにできないという当事者意識を芽生えさせる一方で、モチベーションの差も発生】した。

ストーリー 3 から導かれた理論記述を以下に示す。

理論記述 3

- 3-1 子どもたちは〈Toi〉に対する愛着感や親近感からクラスの一員としての仲間意識を持つと共に、自分たちで作り上げた〈Toi〉に対する誇りと他者に共有する意欲が生じた。
- 3-2 【自由な活動を尊重】することで【自主性やルール尊種の精神が養成】され、【子どもたちに委ねることの重要性】が認識された。

3-3 班同士が互いに影響を及ぼしあうことで〈Toi〉も変化し、活動中の衝突を通して情緒的教育の機会が生まれた。

5.5.4 インタビュー 4 の分析

インタビュー 4 の分析から得られたストーリー 4 は以下の通りである..

ストーリーライン 4

近年、小豆坂小学校では【チーム学習を実践】しており、特に教員 A のクラスでは【投機的な取り組み】として、【普段から机を向かい合わせたグループでの学習活動】を行っている。取り組みの効果として【参加度向上やコミュニケーションの活発化などの面白さ】を挙げており、一方で【チーム編成における人間関係への配慮も必要】としている。また、STEAM 学習については研究会で取り上げられ始めている段階であり、【将来的な取り組みとしての認識】を持っている。今回の活動については〈Toi〉の【近接可能性を重要視】しており、【活動に付随し様々な教育資源が提供】されたと考えている。特に、今回の取り組みでは【STEAM 学習に道徳要素が追加された新規性のある取り組み】と認識しており、【共同生活と日々の試行錯誤】がその要因となった。

ストーリー 4 から導かれた理論記述を以下に示す。

理論記述 4

- 4-1 教員 A のクラスではチーム学習に関する投機的な取り組みを行っており、【参加度の向上やコミュニケーションの活発化】などが見られた。
- 4-2 教員 A は〈Toi〉について近接可能性のある【共同生活と日々の試行錯誤】により、【STEAM 学習に道徳的要素が追加された新規性のある取り組み】と認識した。

6 考察

6.1 質的分析結果に関する考察

6.1.1 理論記述 1

インタビュー 1 では、教員 A の立場から本フィールドワークに関わった感想を尋ねている。

理論記述 1-1 から、教員 A はフィールドワーク開始時期に〈Toi〉を用いた教育指導に対し不安を抱いていたことがわかる。こうした問題は〈Toi〉ワークショップに限らず STEAM 教育の導入における課題であり、教

員の技術的知識や ICT 活用能力の向上が求められている [22]。ただし、〈Toi〉ワークショップでは「子どもたちの能力が発揮」されることで教員 A が導入期に感じていた不安感が緩和されたことがわかる。これは、ストーリーラインにもあるように〈Toi〉ワークショップに子どもたちが熱中して能力を発揮したことで、教員 A に依存しすぎない形で活動が展開されていた可能性が考えられる。

理論記述 1-2 からは、〈Toi〉がチーム内の活動の媒介となることで結束力を高めると共に、計画性や役割意識などプロジェクト管理に必要なような能力が養われていることがわかる。これらは、受け身で活動を行っていた身につかない能力であることから、子どもたちの主体的な学びが引き出されていたと考えられる。

理論記述 1-3 は理論記述 1-1 で述べられていた内容と関連しており、教員 A が〈Toi〉ワークショップに関わる際の立場の変化が現れている。もともと「指導する立場」であろうとしたために技術に関して不安を抱えていた教員 A が次第に学びを見守る立場へと変化したことで、むしろ子どもたちの主体的な学びや試行錯誤が引き出されたのである。これは、先に述べた STEAM 教育導入に関する問題点に関する一つの可能性になるのではないだろうか。教員があれもこれもと全てを教えるのではなく、時には少し身を引いて子どもたちの主体性に任せてみる。筆者らの言葉で表すなら教員側の「弱さ」を少しだけさらけ出してみることで、子どもたちの積極的な姿勢が引き出されるのかもしれない。一方で、今回のケースでは子どもたちが主体的に学びたいと感じた時に、筆者らが用意していた資料が活用された。このように、知りたいことができた時に容易にその知識にアクセスできる環境を用意しておくことが重要だと考えられる。

6.1.2 理論記述 2

インタビュー 2 では、第一回ワークショップに至るまでの背景と第二回ワークショップ前までの共同生活期間における子どもたちの活動の様子を尋ねた。

理論記述 2-1 から、小豆坂小学校の背景として児童が〈弱いロボット〉に対する一定の認知度を持っていたことが挙げられている。ストーリーラインにもあるように、小豆坂小学校は以前に学校行事の一貫として〈弱いロボット〉の見学に訪れており、この時の児童から情報伝達されることで〈弱いロボット〉の認知度が上昇している。このような中で、〈Toi〉ワークショップに向けて実施された国語の授業「〈弱いロボット〉だからできること」では、教科書だけでなく、〈弱いロボット〉に関する映像を用いた授業が実施され、子どもたちの強い関心が引き出されたことがわかる。これらを

STEAM 教育的な観点から考えると国語の授業を始点として算数、理科、図工など複数の教科を〈Toi〉が媒介となることで統合させたと考えられる。

理論記述 2-2 では、第一回ワークショップに関する教員 A の評価が述べられており、チーム学習的な実施形態や教科書を読むだけでなく実際に触れる・作る体験ができることの重要性が挙げられている。〈Toi〉ワークショップにはプログラミングに限らず、センサや AI カメラなど小学 5 年生には難易度が高いコンテンツも含まれている。しかし、ファシリテーターの存在によってこの壁を乗り越えてロボット制作が行われている。この意味で、〈Toi〉ワークショップはヴィゴツキーの「発達の最近接発達領域」に該当する STEAM 教育デザインになっている可能性がある [23]。

理論記述 2-3 では、〈Toi〉との日常的な活動（共同生活期間）を通して直面した困難や失敗にも教育的価値が生まれたことがわかる。教員 A と子どもたちは〈Toi〉との活動の場や、充電器をどのように扱うかなど、日常の中で〈Toi〉と関わるために様々な問題に向き合い、共に「考える機会」を得た。また、充電器の問題ではブレイカーが落ちる等の失敗を経験しながらも、それらを理科の電気に関する学びにつなげるなど、〈Toi〉に付随する活動が教育的資源へと変化した。

6.1.3 理論記述 3

インタビュー 3 では、第二回ワークショップからインタビュー日（8 月 9 日）までの共同生活期間における子どもたちの活動の様子を尋ねた。

理論記述 3-1 から、子どもたちは〈Toi〉をクラスの一員として捉えるほどに愛着感や親近感を抱いていることがわかる。インタビューの中では〈Toi〉に対して独自の名前をつけて、〈Toi〉について話す際にはその名前前で呼ぶことなどが強調されており、強い愛着感を持っていることが窺える。また、子どもたちは自らの手で作り上げプログラミングを行った〈Toi〉に誇りを持っており、インタビューの中では長放課（昼休み）の時間を使い他クラスの児童にロボットを紹介していることが述べられている。この様に、〈Toi〉を用いた活動は当該クラスの中にとどまらず、クラス間交流を媒介する存在にもなり得ると考えられる。

理論記述 3-2 では、教員 A は〈Toi〉ワークショップと自身の行動を振り返る中で、子どもたちに自由な活動を許すことの重要性を再確認した。子どもたちに委ねることで、自主性やルール遵守の精神が養成された可能性がある。

理論記述 3-3 では、共同生活期間に起きた出来事として班同士で影響を及ぼし合っていたことが述べられている。ワークショップにおける振り返りや活動の中で他班の〈Toi〉を見る機会が少なからずあり、相互に

影響を及ぼし合っている可能性がある。この様に、各班が他の班の面白い振る舞いや新しい技術の使い方を相互に取り入れることで、〈Toi〉のチームとしてだけでなくコミュニティ全体としても成長していくことも期待される。

また、共同生活期間の中で活動を通して衝突が起っていたことが確認できる。教員 A はこれを情緒的教育の機会として捉え、教育に活用している。ロボットを用いた STEAM 教育で情緒的教育の機会が得られる教材は、これまでにほとんどないと考えられる。

6.1.4 理論記述 4

インタビュー 4 では、小豆坂小学校で取り組まれている教育方針と STEAM 教育について尋ねた。

理論記述 4-1 にある様に、小豆坂小学校ではチーム学習に関する取り組みを進めている。中でも教員 A のクラスではチーム学習を用いた挑戦的な取り組みとして普段の生活から机を向かい合わせた状態で活動を行っている。〈Toi〉ワークショップでは教員 A のクラスで用いられる 4～5 名の班をそのままチーム編成に用いており、普段から活動を共にするチームであったことがプラス要因として働いた可能性がある。その意味では、チーム学習と〈Toi〉ワークショップの様に共同生活をデザインに組み込んだ教育提案は相性が良い可能性が示唆される。

理論記述 4-4 では、〈Toi〉ワークショップを通じて、「STEAM 学習に道德要素が追加された新規性のある取り組み」と認識されたことがわかる。共同生活期間がもたらす利点として子どもたち同士の情緒的関わりについては想定していなかったが、STEAM 教育に道德的な要素が現れる学習デザインは他にはない特徴だと考えられる。ただ、STEAM 教育における A の定義に関する議論では A をマーシャル・アーツとして捉える見方が広がってきており、その意味では A に道德的要素が含まれると考えるのは自然な流れのように思われる。

6.2 共生型 STEAM 学習

これまでの STEAM 学習に関する学びデザインの提案では、子どもとロボット（教材）の間で展開されるごく限られた学びに着目される傾向があるのではないだろうか。プログラミングの行数はどれくらいか、課題に対してどれくらいの達成度があったかなどの目にみえる数値は評価しやすい。しかし、少し離れて評価する対象を広げてみると、子どもとロボットの周囲には別の子どもたちや教員などがおり、その相互作用によって豊かな学びが生まれている。インタビュー結果においても、〈Toi〉を用いた活動の中で子どもたちが衝突す

ることで情緒的な学びの機会を得たことや、教員 A と子どもたちが共に活動の中で生じた課題に取り組んだことなど、共同生活の中で〈Toi〉の周囲には様々な学びが広がっているのである。そしてそのような活動を通してロボットも子どもたちの能力も変化してくのである（図 8）。これらの内容を踏まえて、子どもたちとロボットが共同生活し、仲間と楽しみながら STEAM 学習を行っていくことを「共生型 STEAM 学習」として提案する。



図 8: 各グループの創作物

7 おわりに

本稿では、小学校高学年を対象とした共生型 STEAM 学習のための弱いロボット〈Toi〉を提案し、ワークショップデザインを紹介した。また、〈Toi〉を用いて小学校でフィールドワークを実施し、半構造化インタビューによる質的評価を行い、SCAT を用いて分析と考察を行った。分析の結果、共生型 STEAM 学習では、主体的な学びを引き出すことや〈Toi〉に関わる様々な要素が学びに変化するといった継続的な学びを生み出す可能性が示唆された。今後の展望としては、小学校での長期的なフィールドワークを実施し、子どもたちのスキルや能力が向上するかについての評価を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、愛知県が公益財団法人科学技術交流財団に委託し実施している「知の拠点あいち重点研究プロジェクト第 IV 期（第 4 次産業革命をもたらしデジタル・トランスメーション（DX）の加速）」により行われた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- [1] Carey, S., 小島康次子, 小林好和 (訳):『子どもは小さな科学者か: J. ピアジェ理論の再考』, ミネルヴァ書房 (1994).
- [2] 岡田美智男:『弱いロボット (シリーズ ケアをひらく)』, 医学書院 (2012).
- [3] 文部科学省:(リーフレット) GIGA スクール構想の実現へ, “https://www.mext.go.jp/content/20200625-mxt_syoto01-000003278_2.pdf” (閲覧日 2025-1-17).
- [4] Anastasopoulou, E., Tsagri, A., Avramidi, E., Lourida, K., Mitroyanni, E., Tsogka, D., Kat-sikis, I.: The Impact of ICT on Education, Technium Social Sciences Journal, Vol. 58, pp. 48-55 (2024).
- [5] Anastasopoulou, E., Katsonis, N., Stavrogiannopoulou, M., Travlou, C., Mitroyanni, E., Tsogka, D.: The Role of ICT in Enhancing Modern Teaching Practices in Elementary Schools, Technium Social Sciences Journal, Vol. 60, pp. 38-45 (2024).
- [6] 村上泰子, 川瀬綾子, (「マルチメディアと図書館」研究グループ): GIGA スクール構想と教育の情報化の課題, 今後の留意点と展望, 図書館界, Vol. 74, No. 2, pp. 108-114 (2022).
- [7] Yakman, G.: STEAM Education: an overview of creating a model of integrative education, pp. 1-28 (2008).
- [8] 安東恭一郎, 金政孝: 科学と芸術の融合による教育の可能性と課題: 韓国 STEAM 教育の原理と実践場面の検討, 美術教育学: 美術科教育学会誌, Vol. 35, pp. 61-77 (2014).
- [9] 大谷忠, 田中若葉, 木村優里, 原口るみ: STEAM 教育の視点から分析した総合的な学習及び探究の時間における授業実践と課題, 東京学芸大学紀要教職大学院, Vol. 75, pp.1-10 (2024).
- [10] Arocena, I., Huegun-Burgos, A., Rekalde, I.: Robotics and Education: A Systematic Review, TEM Journal, Vol. 11, No. 1, pp. 379-387 (2022).
- [11] 西脇裕作, 大島直樹, 岡田美智男: 多人数会話を構成するロボットの言葉足らずな発話が人の会話への参加態度に及ぼす影響, 人工知能学会論文誌, Vol.36, No. 2, pp. 1-12 (2021).
- [12] 西脇裕作, 板敷尚, 岡田美智男: ロボットの言葉足らずな発話が生み出す協調的インタラクションについて, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 21, No. 1, pp. 1-12 (2019).
- [13] Papert, S., 奥村貴世子 (訳):『マインドストームー子供, コンピューター, そして強力なアイデア』, 未来社 (1995).
- [14] レゴ® ショップ公式オンラインストア JP: レゴ® マインドストーム®— について, “<https://www.lego.com/ja-jp/themes/mindstorms/about>” (閲覧日 2025-1-18).
- [15] ヴェイストーン株式会社: ロボット教育・教材販売, “<https://www.vstone.co.jp/event/school.html>” (閲覧日 2025-1-23).
- [16] 井上春奈, 藤本登, 河野孝治, 小八重智史: ロボット教材による論理的思考の育成に関する研究, 長崎大学教育学部教育実践研究紀要, Vol. 21, pp. 159-168 (2022).
- [17] Decety, S.-J. B. . J.: From the perception of action to the understanding of intention, Nature Reviews Neuroscience, Vol. 2, pp. 561-567 (2001).
- [18] 工藤亘: teachers as professionals としての tap — 「指導者」と「支導者 (ファシリテーター)」—, 教育実践学研究, Vol. 16, pp. 23-44 (2012).
- [19] 小高良友:ブレインストーミングー臨床社会学や文章作成法との関連でー, 東海学院大学紀要, No. 5, pp. 41-44 (2011).
- [20] Glaser, B., Strauss, A.: “The Discovery of Grounded Theory. Strategies for Qualitative Research”, Aldine (1999).
- [21] 大谷尚: 4 ステップコーディングによる質的データ分析手法 SCAT の提案ー着手しやすく小規模データにも適用可能な理論化の手続きー, 名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要 (教育科学), Vol. 54, No. 2, pp. 27-44 (2008).
- [22] 北澤武, 赤堀侃司: 教員養成における STEM/STEAM 教育の展望, 日本教育工学会論文誌, Vol. 44, No. 3, pp. 297-304 (2020).
- [23] Vygotsky, L. S., 土井捷三, 神谷栄司 (訳):『発達の最近接領域の理論ー教授・学習過程における子どもの発達』, 三学出版 (2005).