

子どもと気づきを分かち合う共愉的な学習環境 〈PoKeBo Cube〉の構築

“PoKeBo Cube”:

Convivial Learning Environment to Share Awareness with Children

関川 泰地^{1*} 西村 駿¹ 長谷川 孔明¹ 岡田 美智男¹

Taichi Sekikawa¹, Shun Nishimura¹, Komei Hasegawa¹ and 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: 他者と関わり合いながら対話を通して学ぶことは自らの成長に大きな影響を与えると言われている。特に、自立共生を志向した共愉的な関係性が見られる場面では、相互に協力しながら共通の目標を達成しようとする動きがより顕著に見られる。では、ロボットとの共愉的な関わりは子どもたちにどのような学びをもたらすのだろうか。本研究では、ときどきもの忘れを伴うロボットたちと一緒に学びを進めていく共愉的な学習環境〈PoKeBo Cube〉を提案し、構築した。本稿では本システムのコンセプトやインタラクションデザインについて述べる。また、フィールドワークを通して、どのような協働や学びが生まれるのかを考察する。

1 はじめに

「えーと、愛知県の県庁ってどこにあるんだっけ？」
「うーんと...」「なんだっけ...?」、ロボットたちがお話ししている。社会科の問題について考えているようだが、答えを忘れてしまったみたいだ。そばに居る子どもがロボットたちを助けたそうにしているが、答えを思い出せていないようだ。そんな時だった。「しゃちほこのお城があった気がするなあ...」、あっ... そうか。子どもは答えを思い出し、「名古屋にあるんじゃない?」、そうロボットたちに教えてあげた。「そうだった! 名古屋にあるんだっけ!」、ロボットたちは答えを思い出し、次の問題へ会話を進めていった。その様子を見た子どもは、ロボットたちと協力し合えたように感じたようだ。ロボットたちからヒントを貰うことができ嬉しい気持ちになったと同時に、ロボットたちを助けてあげることができて誇らしい気持ちにもなったようである。

このように、他者と関わり合いながら学ぶことは自らの成長に大きな影響を与えられると言われている。複数人で勉強している時、他者に教えることで自分の理解がより深まり、対話をすることで新たな知見が得られることがある。学習者が他者との関わりを通じて得る学びは、文部科学省の中央教育審議会などでも推奨されており、主体性を持って多様な人々と協力する態度を育むことを目的の一つとしている。



図1: 〈PoKeBo Cube〉とのインタラクション

筆者らは、これまで〈弱いロボット〉の概念[1]に基づく関係論的なソーシャルロボットの研究・開発を進めてきた。また、〈Talking-Bones〉[2]を代表とする、もの忘れという行為から繰り出される〈不完結な発話〉を特徴としたロボットの研究を進めている。このような関係論的なソーシャルロボットの研究の一環として、ここでは学習者と相互に協力しながら学びを進める〈PoKeBo Cube〉を構築し(図1)、フィールドワークを実施した。

本稿では、まず、研究背景について整理し、〈PoKeBo Cube〉の構成とそのインタラクションデザインを述べる。次に、〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションの様子を観察するフィールドワークにおける特徴的な事例を取り上げ、会話分析の結果と考察を述べる。最後にまとめと今後の展望を述べる。

*連絡先: 豊橋技術科学大学情報・知能工学系
〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1
E-mail:sekikawa.taichi.vf@tut.jp

2 研究背景

2.1 ICT教育の現状

2019年度から文部科学省が進めているGIGAスクール構想[3]により、義務教育を受ける児童生徒一人一人にPCやタブレット端末が配布された。GIGAスクール構想は、学習の個別最適化を充実させること、教育の質を向上させること等を目的としている。児童生徒に配布されたICT機器は自宅に持ち帰って宿題などに使うことも想定されており、普段の家庭学習にデジタル教材を取り入れることが可能である。2022年度末時点で、99.9%の自治体で児童生徒1人につき1台のICT機器が整備されており、2023年度末に全自治体で整備完了が予定されている[4]。

先に述べたICT機器の配布に伴い、数多くのデジタル教材が普及してきた。ICT機器とデジタル教材を活用した授業はもはや当たり前となっており、数多くの実践例が報告されている。重田[5]は授業時間外にデジタル教材等で知識習得を済ませ、教室では知識確認や問題解決学習を行う「反転授業」の導入事例について報告しており、ICT機器やデジタル教材の普及は教育現場に大きな影響を与えている。

一方で、ICT機器とデジタル教材を活用した家庭学習は自己完結したヒューマンレスなものが多く、他者の意見を取り入れながらの学びが疎かになることや書く・話すといったアウトプットの減少が懸念されている。このように、家庭学習におけるICT機器の利活用にはメリットもあるが、さまざまな課題が存在している。

2.2 他者とのふれあいを通じた学び

子どもたちが相互に協力しながら共通の目標を目指す学びを「協働的な学び」と呼ぶ¹。文部科学省中央教育審議会の答申「子どもを取り巻く環境の変化を踏まえた今後の幼児教育の在り方について」[6]では、幼児同士が一つの目標を作り出し、協力・工夫して解決していく活動を「協同的な学び」として位置付け、その取り組みを推奨する必要性について述べている。協働的な学びのように他者に関わりながら学ぶことは発達の最近接領域[7]の観点からも利点があると考えられている。

発達の最近接領域とは、子ども1人ではできないが周りの助けがあればできる物事の領域であり、心理学者のヴィゴツキーによって提唱された。この領域での学習は、子どもたちの効果的な成長や発達を促すことが期待されている。ヴィゴツキーの発達理論では、子

どもは他者との関わりの中で発達していくと考えられている。そのため、子どもができるようになるまで待つのではなく、周りの大人たちが発達の最近接領域に対して働きかけることが重要となる。

本研究では、子どもたちの手助けをする存在として〈PoKeBo Cube〉を活用する。子どもが自力で解くことが難しい問題において、PoKeBoからヒントをもらうという出来事は、発達の最近接領域に対して効果的に働きかけるものと考えられる。

2.3 ロボットとの共働的な学びの実現

以上を踏まえて、家庭学習を含む教育現場に他者との関わりを通じた学びを提供することは、子どもたちの発達を手助けする上で重要な要素となる。他者の役割をロボットに置き換えた研究事例として、ロボットの学び方の変化が学習者の学び方に与える影響について考察した研究[8]やロボットの賢さの違いが子どもの英単語学習に及ぼす影響について検討した研究[9]、感情表出モデルを実装したロボットとの共同学習が学習効果に及ぼす影響について検討した研究[10]などが挙げられる。これらの研究事例と同様に〈PoKeBo Cube〉においても、ロボットを助けたことによる子どもの自己肯定感の獲得と共に、関係発達論[11]やprotégé effectとして指摘される「教えることを通じた学び」を得ることを期待している。

また、岡部[12]は他者との相互行為によって構築される関係として「共働的(convivial)な相互作用」について述べている。共働(coviviality)[13]とは、イリイチによって提唱された概念であり、自立共生的な社会関係の中で個人の意思や自由を尊重し、相互に支え合う関係性のことを示す。共働的な相互作用がみられるグループのもとでは、相互のリソースを提供しながら目標達成をしようとする動きが活発的に見られる[14]。本研究ではこれらの考え方を踏まえ、共に愉しみつつ、相互に支え合いながら共通の目標を目指す学びを「共働的な学び」と捉える。ロボットに答えを教える、ロボットからヒントをもらうといったやり取りを通して、〈PoKeBo Cube〉との共働的な学びを実現することで、教育現場における新たな協働の在り方を提供したいと考えている。

3 〈PoKeBo Cube〉の構成

3.1 コンセプト

〈PoKeBo Cube〉はもともと、情報提供の仕方をタングブルに調整できるソーシャルインタフェースとして開発されたロボットである[15]。ネットワーク上の

¹本稿では、「協働」と「協同」を共通概念として捉えるも、研究内容との類似性から「協働」の語を用いる。ただし、他の参考文献を引用した際には、その参考文献の中での使い分けに従うこととする。

ニュースサイトから情報を取得し、そのニュースについて3体のPoKeBoがヒソヒソ話をすることにより、自立的に多人数会話の場を組織する。PoKeBoたちがヒソヒソ話をしていると、ユーザは話の内容が気になり彼らの会話から主体的に情報を得ようとする。このヒソヒソ話によって、情報を受動的に享受するのではなく、ユーザ自らの意思で積極的に情報を得ることができる。

本研究は、従来の〈PoKeBo Cube〉を学びの場に活用することを狙いとして生まれたものである。PoKeBoたちがデジタル教材の内容をもとに会話をしているが、時々もの忘れをしてしまう。このときに子どもと一緒にもの忘れした言葉を考えてあげる。また、子どもが答えを思い出せないときはPoKeBoからのヒントをもとに考える。このように子どもとロボットが協力しながら学んでいくことで、子どもの自己肯定感や有能感を高めていくことが本システムのコンセプトである。本研究で構築した〈PoKeBo Cube〉を図2に示す。



図2: 〈PoKeBo Cube〉の外観

3.2 システム構成

本システムの構成を図3に示す。本システムは発話内容生成部、発話制御部、振る舞い制御部の3つから構成されている。各ノード間の通信には、Robot Operating System 2(ROS2)を用いている。

3.2.1 発話内容生成

発話内容生成部はテキストファイル形式の教材を入力とし、PoKeBoの忘却箇所を編集することで発話文を生成する教材編集ツールとPoKeBoが話すヒントを生成するヒント生成ノードから構成される。教材編集ツールではデジタル教材のもとになるテキストを日本語形態素解析システムJumanと日本語構文・格・照応解析システムKNPを用いて、文節や形態素単位に分割することで忘却単位を生成する。これに副詞や助詞

といった忘却の対象としない語句にフラグを立て、生成したJSONファイルをUnityで実装されたフロントエンドに提供する。ユーザはタブレットに表示されているデジタル教材とPoKeBoたちの会話をもとに問題を解いていく。ヒント生成ノードでは、OpenAI社のGPT-4oによって答えを想起させるヒントを生成する。

3.2.2 発話制御

発話制御部はユーザの発話を入力とする音声認識ノードと発話文を出力する合成音声ノード、発話内容生成部から提供された発話文を処理する発話制御ノードから構成される。音声認識にはGoogle社のSpeech-to-text AIを、音声合成エンジンにはATR-Promotions社のWizard Voice SDKを使用している。発話制御ノードは発話内容生成部から提供された発話文を1行ずつ取得し、忘却フラグが立っている場合は発話内容生成部のヒント生成ノードに問題文と答えとなる単語を送信する。生成されたヒントや元の発話文は合成音声ノードに送信される。また、発話するPoKeBoの情報を振る舞い制御部のPoKeBo制御ノードに提供する。

3.2.3 振る舞い制御

振る舞い制御部は顔認識ノードとPoKeBo内部のDCモータを制御するモータ制御ノード、PoKeBo全体の処理を担当するPoKeBo制御ノードから構成される。PoKeBo制御ノードは発話制御部から提供された情報をもとにPoKeBoの首を上下左右に動かすようにモータ制御ノードに送信する。モータ制御ノードは受信した情報を基に、PoKeBo内部に搭載されているマイコンに制御信号を送信する。また、顔認識ノードでPoKeBoたちの正面に人がいると判定した場合はPoKeBoが人の方向を向くように制御する。

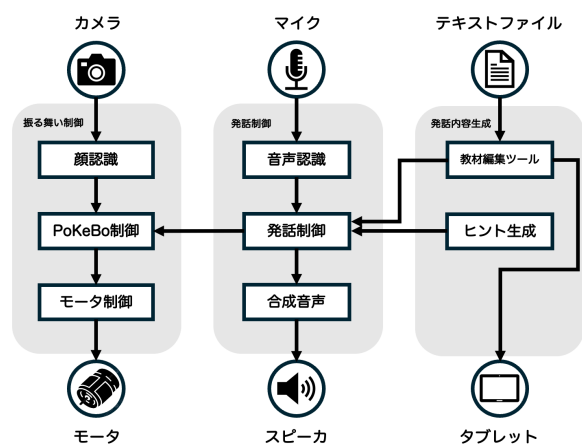


図3: システム構成

3.3 ハードウェア構成

PoKeBo のハードウェア構成を図4に示す。PoKeBo の頭部には振る舞いを制御するためのマイコンとバッテリーを搭載しており、サーバ PC から BLE(Bluetooth Low Energy) 経由で制御をおこなう。マイコンには Arduino Nano 33 BLE を用いた。中段には2つの DC モータを搭載しており、それぞれ Pitch 軸と Yaw 軸の制御をおこなう。この2つのモータを用いて、うなづく動作や首を左右に振る動作を実現している。また、中段と下段の間にバネを搭載した。バネによる不規則な動きを与えることで「よたよた」とした生き物らしさを生み出し、ロボットの見た目から生まれる負の適応ギャップ [16] を回避することを目的としている。

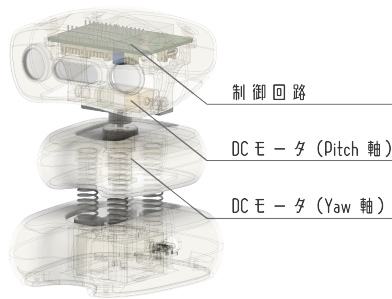


図4: PoKeBo のハードウェア構成

また、〈PoKeBo Cube〉の台座の構成を図5に示す。台座の内部には〈PoKeBo Cube〉のサーバとなる PC や発話用のスピーカ、顔認識用のカメラ、音声認識用のマイクが搭載されている。

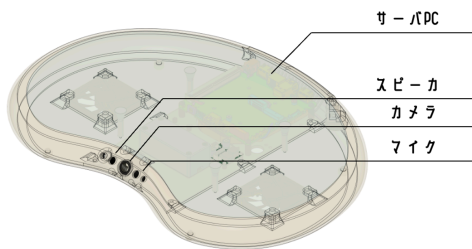


図5: 台座のハードウェア構成

4 評価実験

プラットフォームとして構築した〈PoKeBo Cube〉を愛知県内の小学校や大学施設に設置し、子どもたち

やその保護者とのインタラクションの様子を観察するフィールドワークを行った。

4.1 目的

本研究では〈PoKeBo Cube〉と子どもたちとのインタラクションにおいて、次の2点に着目して評価することを目的としている。

1. 子どもとロボットが共倫的な関係性を構築しやすい会話形態について
2. 子どもとロボットの間で共倫的な学びを実現することで生まれる行動・会話・印象について

以上の点について、フィールドワークでの様子やインタビュー結果から質的に調査することが本研究の目的である。ロボットとのインタラクション中の様子やその過程に注目し、質的な分析を行なった例として、久野 [17] のエスノメソドロジーに基づくロボット研究がある。ここでは、定量的な結果のみでなく、それらを得る過程に着目することの必要性について論じている。本研究もコミュニケーションが得られた過程を定性的に議論することで、そのコミュニケーションがどのような心情から生じたものなのか、その過程までの分析を行う。

4.2 方法

4.2.1 概要

本実験は、2024年8月19日、20日、10月4日、11月3日の計4日間で実施した。実験場所は豊橋技術科学大学の一室および愛知県内の小学校の教室である。参加者は小学3年生から6年生の児童であり、計16名(男児: 10名, 女児: 6名)であった。

4.2.2 実験方法

実験中の様子を図6に示す。実験参加者には、手元のタブレット端末に表示されている穴埋め問題を〈PoKeBo Cube〉と関わり合いながら解き進めていくタスクを行ってもらった。タスクは計3回実施し、後述する実験条件に対応した科目に取り組んでもらった。提示する穴埋め問題は各学年ごとに合わせたものを用意し、小学校の授業ですでに学習済みである単元の中から選択した。穴埋め問題には空欄部分が3箇所ずつ存在し、PoKeBoたちの会話が空欄部分にたどり着いた際にもの忘れを行う。実験参加者には、PoKeBoたちがもの忘れしてしまった場合に一緒に答えを考えてもらった。ただし、実験条件によって忘却時のPoKeBoの振る舞いが異なる。

実験参加者が〈PoKeBo Cube〉に対して抱いた印象を評価するために半構造化インタビューによる印象評価を行った。本実験は被験者内計画で行い、実験参加者には3つの条件でのタスクを行ってもらった。実施する条件の順序は、順序効果を考慮し実験参加者によって異なる。



図 6: 実験中の様子

4.2.3 実験手順

本実験は、〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションを1人ずつ行ってもらった。実験参加者には、学年や好きな教科、1人で勉強することが好きかどうかを確認した後、タブレット端末の操作方法やインタラクションの内容に関する説明を行った。実験参加者に行ったインタラクションに関する説明は以下の通りである。

- 目の前のロボットたちがタブレット端末に表示されている問題について会話をしている
- ロボットたちがもの忘れしてしまった場合、答えがわかっていたらロボットに教えてあげてほしい
- 国語、社会、理科の勉強を一緒にしてもらい、その後インタビューに答えてもらう
- 教科ごとにロボットの話し方や振る舞いの仕方が違うため、その点に注意してお話ししてほしい
- 正しい答えを教えてあげられなくても問題ないため、気軽にお話ししてほしい

教示を行った後、練習として〈PoKeBo Cube〉と練習用教材に取り組んでもらった。練習終了後に、1, 2回目のインタラクションを行ってもらい、その後、後述するインタビュー1を行った。次に3回目のインタラクションを行ってもらったのち、インタビュー2を行った。最後に総括としてインタビュー3を行い、実験を終了した。インタラクション時間は、教材の種類や忘却

時の振る舞い、子どもの反応によって前後するが、平均6分程度であった。

4.2.4 条件

本実験では、子どもとロボットが共時的な関係性を構築しやすい会話形態を探るため、〈PoKeBo Cube〉の忘却時の振る舞いとして、3つの実験条件を設定した。各条件での忘却時の会話例を表1に示す。

表 1: 各条件ごとの忘却時の会話例

(1) 閉鎖的条件 (条件 1)	
PoKeBo A	愛知の県庁ってどこにあるんだっけ？
PoKeBo B	名古屋にあるんだよ
PoKeBo A	そうだー！それぞれ！
(2) 開示的条件 (条件 2)	
PoKeBo A	愛知の県庁ってどこにあるんだっけ？
PoKeBo B	なんだっけー...？
PoKeBo C	うーんと...
Child	名古屋にあるんだよ
PoKeBo A	そうだー！それぞれ！
(3) 共時的条件 (条件 3)	
PoKeBo A	愛知の県庁ってどこにあるんだっけ？
PoKeBo B	しゃちほこのお城がある気がするなあ
PoKeBo C	お味噌が有名な気がするなあ
Child	名古屋にあるんだよ
PoKeBo A	そうだー！それぞれ！

(1) 閉鎖的条件 (以下、条件 1)

条件1では、PoKeBoたちが国語の問題について会話をしており、忘却時にすぐ別のPoKeBoが答えを教えるように振る舞う。そのため、子どもによる手助けがない場合でもPoKeBoたちの会話は進んでいく。

(2) 開示的条件 (以下、条件 2)

条件2では、PoKeBoたちが社会科の問題について会話をしており、忘却時に子どもの方を向きながら「なんだっけー？」「うーんと」といった助けを求める振る舞いを行う。この振る舞いにより、子どもがPoKeBoたちの会話に参加する余地が生まれる。答えを教えることができた場合は、次の問題へ会話が進んでいき、答えを教えてあげられなかった場合は助けを求める振る舞いを繰り返す。一定時間が経過した際は、「うーん、思い出せないなあ」といったPoKeBoたちが諦めたと受け取ることができる振る舞いを行ったのち、強

制的に次の問題へ会話が進んでいく。

(3) 共愉的条件 (以下, 条件 3)

条件 3 では, PoKeBo たちが理科の問題について会話をしており, 忘却時に子どもの方を向きながら, 答えを想起させるためのヒントを話す。答えを教えることができた場合の振る舞いは条件 2 と同様であるが, 答えを教えることができなかった場合は, ヒントを話す振る舞いを繰り返す。一定時間が経過した際は, いずれかの PoKeBo が答えを思い出した旨を伝える発話を行い, 次の問題へ会話が進んでいく。

4.2.5 半構造化インタビュー

本実験では, 半構造化インタビューを 3 パートに分けて行った。それぞれの基本となる質問項目を以下に示す。

インタビュー 1

1. 1 回目と 2 回目でロボットの振る舞いにどのような違いがあったか。
2. 1 回目と 2 回目で印象はどのように変化したか。

インタビュー 2

1. 2 回目と 3 回目でロボットの振る舞いにどのような違いがあったか。
2. 2 回目と 3 回目で印象はどのように変化したか。

インタビュー 3

1. ロボットに答えを教えたときにどのように感じたか。
2. ロボットからヒントをもらったときにどのように感じたか。
3. 友人と勉強するときと比較してどのように感じたか。
4. 普通の穴埋めドリルと比較してどのように感じたか。

5 結果

5.1 実験参加者の分析

本実験には, 小学 3 年生から 6 年生 (3 年生: 6 名, 4 年生: 4 名, 5 年生: 5 名, 6 年生: 1 名) の 16 名 (男児: 10 名, 女児: 6 名) が参加した。

〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションが子どもたちの学習に対する興味を引き出すことができるか検討するため, インタラクション中の参加態度から実験参

加者を「積極グループ」と「消極グループ」の二つに分類した。PoKeBo たちに話しかけたり, 真剣に考えている仕草を見せたりすることが多かった実験参加者は積極グループに, PoKeBo たちに話しかける頻度が極端に少なかったり, 周囲を見渡すなどのインタラクションに関係のない仕草が多く見られたりした実験参加者は消極グループに分類した。また, 子どもと PoKeBo たちが共愉的な関係性を構築しやすい会話形態を探るため, 半構造化インタビュー 1 および 2 の印象比較において, 実験参加者には 3 つの実験条件について PoKeBo たちと楽しく協力できた度合い (以下, 協力度) をつけてもらった。これらの結果と各実験参加者の属性を表 2 に示す。

この結果から, 12 名の実験参加者が積極グループに分類されたことがわかる。したがって, 実験参加者全体の 75% にあたる子どもたちからは, 〈PoKeBo Cube〉や学習に対する興味を引き出すことができたと言える。また, 積極グループに分類された実験参加者 12 名のうち 10 名が, 条件 1 を最も低く評価していることがわかる。したがって, 条件 2 および 3 に共通する「PoKeBo たちの会話に参加して答えを教える」行為から, 子どもたちが楽しく協力できたと感じていることが示唆された。特に, その内の 8 名が条件 3 のインタラクションで最も楽しく協力できたと感じていることがわかる。このことから, 条件 3 のような相互に協力し合う関係性は子どもからの積極的な関わりを引き出す可能性があることが示唆された。

表 2: 各実験参加者の属性および分析結果

参加者	性別	学年	参加態度	協力度
参加者 A	男	6 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 B	男	5 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 C	男	4 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 D	男	4 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 E	男	3 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 F	男	3 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 G	女	3 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 H	女	3 年生	積極	3 > 2 > 1
参加者 I	女	5 年生	積極	3 > 1 > 2
参加者 J	男	4 年生	積極	3 > 1 > 2
参加者 K	女	5 年生	積極	2 > 3 > 1
参加者 L	女	3 年生	積極	2 > 3 > 1
参加者 M	女	5 年生	消極	3 > 2 > 1
参加者 N	男	3 年生	消極	3 > 1 > 2
参加者 O	男	5 年生	消極	2 > 3 > 1
参加者 P	男	4 年生	消極	2 > 3 > 1

5.2 観察されたインタラクション

本節では、積極グループから2名、消極グループから1名を選定し、それぞれの特徴的なやり取りを紹介する。なお、紹介する参加者は学年や性別の偏りがないように選定した。紹介する実験参加者を表3に示す。

表3: 紹介する実験参加者

参加者	分類	取り上げる条件
参加者 B	積極	1, 2, 3
参加者 E	積極	2, 3
参加者 M	消極	3

5.2.1 参加者 B

参加者 Bに見られた特徴的なやり取りとして、事例 B.1, 2, 3を紹介する。

事例 B.1では、PoKeBoがもの忘れをした際に、参加者 Bがタブレット端末を確認して答えを考えようとしている。また、他のPoKeBoが答えを教えた際に相槌を行い、PoKeBoからの発話に対して無視することなく反応している。特に、参加者 Bは全参加者の中で唯一、条件1で発話しており、積極的に関わろうとする姿勢が見受けられる。事例 B.2では、PoKeBoがもの忘れをした際に、すぐに答えを教えてあげている。このとき、穴埋め問題の空欄部分である「中部」を強調して発話しており、PoKeBoに懸命に答えを教えようとしている様子が見受けられる。事例 B.3では、PoKeBoが物忘れをした際に、腕を組みながら答えを考えている様子が見受けられる。また、その後の様子から、答えを思いついていないことが示唆される。しかし、PoKeBoからの「外にある箱じゃないかな」といったヒントを頼りに答えに辿り着いており、PoKeBoたちを手助けしている。

以上のやり取りから、参加者 BはPoKeBoたちと相互に協力しながら問題を解き進めていくことができているため、協働的な学びが実現されていると言える。また、インタビューにおいて、条件2, 3では「答えを教えた時は嬉しそうな反応をしてくれて助けになれた気がした」、条件3に限っては「自分が答えをわかっている時でもヒントをくれて、話しやすくしてくれていた」と回答していた。このことから、参加者 Bは条件3においてPoKeBoたちと相互に支え合いながら共通の目標を達成しようと行動していたと考えられる。したがって、PoKeBoからヒントをもらう、PoKeBoに答えを教えるといったやり取りから、PoKeBoたちとの間で共働的な学びが実現されたことが示唆された。

【事例 B.1】

PoKeBoが教材「漢字辞典について」の「音訓索引」をもの忘れしている場面。子どもが答えを教えようとするも、他のPoKeBoが先に答えを教えたため、相槌をしている。
条件: 1, child: 参加者 B

- 01:robotC 漢字の読み方がね
02 (2.12)
03:robotA え:読み方.
04 (0.76)
05:child うん.
06 (1.80)
07:robotC わかっていればね
08 (0.31)
09:child うん
10 (2.09)
11:robotB わかっていれば?
12 (2.87)
13:robotC 何を使うんだっけ?
14 (1.64)
→ 15:child え:っとね:=((タブレットを見る))
→ 16:robotB =音訓索引を使うんだよ
17 (0.28)
→ 18:child そう
19 (0.80)
20:robotA 音訓索引なんだね

【事例 B.2】

PoKeBoが教材「愛知県について」の「中部地方」をもの忘れしている場面。答えがわかっている子どもがPoKeBoに教えている。
条件: 2, child: 参加者 B

- 01:robotA 愛知県はね
02 (0.46)
→ 03:child うん.
04 (1.88)
05:robotC ええ:愛知県
06 (1.30)
→ 07:child うん.
08 (1.18)
09:robotA 何(.)地方にあるんだっけ?
10 (0.98)
→ 11:child えっとね:(.)愛知県はね:(.)中部(.)地方にあるんだよ
12 (1.25)
13:robotB なんだっけ?
14 (0.83)
15:child 中部地方だよ
16 (4.90)
17:robotA それぞれ(.)中部地方にあるんだよ
18 (.)
→ 19:child そうそう=
20:robotB =中部地方なんだね
21 (0.41)
→ 22:child そう

【事例 B.3】

PoKeBo が教材「天気と気温について」の「百葉箱」をもの忘れしている場面。最初は答えを思い出していないが、PoKeBo のヒントを頼りに正しい答えを思い出している。
条件: 3, child: 参加者 B

- 01:robotC 何があるんだっけ?
02 (1.16)
→ 03:child ° うーん(.) 上手に測るため?° ((腕を組む))
04 (4.18)
05:robotA 白い箱じゃないかな:?
06 (0.37)
→ 07:child ° う: ん°
08 (3.31)
→ 09:child ° 上手に測るため:° =
10:robotB =うん(.) 外にあるじゃないかな:
11 (4.93)
→ 12:robotA 外にある箱じゃないかな:°=
→ 13:child =あっ
14 (1.73)
→ 15:child 百-(.) 百葉箱?
16 (0.87)
→ 17:child ° だっけ°
18 (4.05)
19:robotC 思い出した(.) 百葉箱があるん [だよ
20:child [° うん°
21 (0.67)
22:robotA 百葉箱なんだね
23 (.)
24:child ((無言で頷く))

5.2.2 参加者 E

参加者 E に見られた特徴的なやり取りとして、事例 E.2, 3 を紹介する。

事例 E.2 では、PoKeBo がもの忘れをした際に、答えがわからない状況でも自分の意見を伝えようとする様子が見受けられる。条件 2 におけるインタラクションであるため、PoKeBo からヒントを得ることができず、答えを思い出せないまま次の問題へ会話が進んでいる。事例 E.3 では、最初に間違った答えを教えている様子が見受けられる。ただし、小声で呟いている様子が見られたことから、確証が持っていないことが伺える。その後、PoKeBo たちがヒントを話したのちに答えを教えることができている。

条件 2 では答えを教えるまでに至らなかったが、インタラクション中の様子から参加者 B も PoKeBo たちと協力しながら学びを進めていくことができたと考えられる。インタビューでは、条件 1, 2 において「ヒントを話してくれないため少し大変だった」といった回答が得られた。また、条件 3 において「思い出せなかったり、間違えたりしてもヒントを話してくれるため、PoKeBo

たちとの絆が深まった気がした」、「自分に関わろうとしてくれて嬉しかった」といった回答が得られた。このことから、PoKeBo たちのヒントを話すという行為は子どもの心情に働きかけるものであり、共働的な相互作用を生み出す上で効果的であることが示唆された。

【事例 E.2】

PoKeBo が教材「まちの様子について」の「地図」をもの忘れしている場面。子どもが答えを考えながら PoKeBo に問いかけている。
条件: 2, child: 参加者 E

- 01:robotC 何を見るんだっけ?
02 (0.68)
03:child 土地?
04 (5.58)
05:robotA う: んと
06 (4.07)
→ 07:child なんか三つあった気がする
08 (1.61)
→ 09:child 土地(.) となんか [空港(.) となんか
10:robotB [なんだっけ?
11 (6.46)
12:robotA な: んだっけ?
13 (6.07)
→ 14:child 土地?
15 (0.68)
16:robotC う: ん(.) 思い出せないな:.

【事例 E.3】

PoKeBo が教材「植物について」の「夏」をもの忘れしている場面。最初は間違った答えを教えているが、PoKeBo のヒントを頼りに正しい答えに辿り着いている。
条件: 3, child: 参加者 E

- 01:robotB え: 季節?
02 (3.18)
03:robotC なになんだっけ?
04 (0.76)
→ 05:child はる?
06 (3.72)
→ 07:child ° はる°
08 (2.14)
→ 09:robotB 暑い時期(.) じゃないかな:°
10 (6.11)
→ 11:robotA 昼が長い気がするな:
12 (0.98)
→ 13:child なつ
14 (4.24)
15:robotB 日差しが強いじゃないかな:°=
16:child =なつ(0.74)なつ
17 (3.41)
18:robotC 思い出した(.) 夏なんだよ

5.2.3 参加者 M

参加者 M に見られた特徴的なやり取りとして、事例 M.3 を紹介する。

事例 M.3 では、PoKeBo とのインタラクション中に周囲を見渡す、頭を掻くといった集中していない様子が見受けられた。また、答えを教えるはいるものの、PoKeBo たちがいない方向を見て発話するといった様子も見受けられた。このことから、〈PoKeBo Cube〉に対する興味が他の参加者と比較して低く、インタラクションに飽きを感じていることが示唆された。

本研究において、参加者に飽きを感じさせた要因として、参加者の属性などの潜在的要因も考えられる。しかし、参加者 M のインタラクション中の様子から考察すると、PoKeBo たちの会話テンポの遅さや学習教材の難易度の低さが飽きを感じさせた要因であった可能性がある。まず会話テンポに関して、参加者 M は PoKeBo がもの忘れをしていない状況で、周囲を見渡すなどのインタラクションに関係のない行為をよく行っていた。これは、PoKeBo たちの会話を聞くだけの時間が長く、そのインタラクションが単調であることが起因していると考えられる。本実験では、穴埋め問題の空欄部分のみをもの忘れさせていたため、PoKeBo たちがもの忘れする箇所を推察されてしまった可能性があり、こちらの点も影響していたと考えられる。また学習教材の難易度に関して、参加者 M は PoKeBo たちがヒントを話す前に正しい答えを教えていた。このことから、正しい答えがわかっていたため、PoKeBo たちの会話に興味に向かなかった可能性があると考えられる。

以上を踏まえ、今後は穴埋め問題の空欄部分以外にも、もの忘れさせるように変更するなど、〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションにより興味を持ってもらうための検討を進めていく。また、実験参加者の学年だけでなく、各々の学習能力も考慮した学習教材の選定などの検討も進めていく。

6 考察

6.1 質的分析から得られた知見

本研究では、インタラクション中の様相や半構造化インタビューの結果を踏まえ、質的分析を行った。そこから得られた一つ目の知見として、「PoKeBo たちの振る舞いや発話が子どもたちの学習に対する積極的な参加の促進に効果的であった」ことが挙げられる。5.1 章で述べたように、参加者の 75% にあたる子どもたちからは〈PoKeBo Cube〉との学習に積極的に取り組む様子が観察できた。この結果が得られた要因として、PoKeBo の忘却行為とヒントを提供する行為が挙げられる。半構造化インタビュー 1 および 2 で行った各条件の印象

【事例 M.3】

PoKeBo が教材「メダカについて」の「顕微鏡」をもの忘れしている場面。〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションに飽きている様子が見受けられる。
条件: 3, child: 参加者 M

01:robotB 卵をね=
→ 02:child =((周囲を見渡す))
03 (1.83)
→ 04:child ((頭を掻く))
05:robotC 卵がどうしたの
06 (2.42)
07:robotB 観察(.)するときはね
08 (1.92)
→ 09:child ° 顕微鏡かな°
10 (3.31)
11:robotB なにを使うんだっけ?
12 (0.91)
→ 13:child けんびきょ:((PoKeBo がいない方向を見る))
14 (4.32)
15:robotB それそれ:
16 (0.35)
17:robotB 顕微鏡を使うんだよ

比較では、積極グループに分類された 12 名のうち 8 名から条件 3, 2, 1 の順で PoKeBo たちと楽しく協力しながら学ぶことができたとの回答が得られた。条件 3 が最も評価が高かった理由として、「ヒントを話してくれたことが嬉しかった」、「答えがわからない時に助けてくれたから」という回答が多く得られた。また、条件 2 が条件 1 より評価が高かった理由として、「答えを教えたことで手助けできたことが嬉しかった」という回答が多く得られた。このことから、他者に教え、時には助けてもらうという相互に協力し合う関係性を構築できたことが、子どもたちから積極的な態度を引き出した要因であると考えられる。一方で、参加者の 25% にあたる子どもたちからは、積極的な態度を引き出すことができなかった。この理由の一つとして、〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションに対する飽きが考えられる。5.2.3 章で述べたように、PoKeBo たちの会話の展開が遅いことや忘却箇所を推定されてしまった恐れがあることが起因していると考えられる。コミュニケーションロボットに対する子どもの興味について田中 [18] は、ロボットのエージェンシーが子どもの興味を維持するために重要な役割を果たしているとして述べている。これを踏まえて、今後は〈PoKeBo Cube〉とのやり取りが単調なものにならないように、新たなインタラクション形態を探っていく必要がある。

二つ目の知見として、「ロボットとの対話を通じた学習が子どもたちのやる気を引き出す」ことが挙げられる。半構造化インタビュー 3 で行った通常の穴埋めドリルとの比較では、「ロボットと話しながらの勉強は遊んでいる感覚でできる」、「人同士だと自分の発話に反応し

てくれない時があるが、ロボット相手だと必ず反応してくれて嬉しい」といった意見が得られた。また、人同士での勉強との比較では、「友達と勉強する時と似た感覚だった」、「年下の子に話しかけるような感覚だった」といった意見が多く得られた。このことから、〈PoKeBo Cube〉のようなロボットとの対話を通じた学習は子どもたちから受け入れられやすいものであり、やる気や自己肯定感の向上に効果的であることが示唆された。一方で、「長期間一緒に勉強していると飽きてしまいそう」という意見も得られた。今後、子どもたちの属性と〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションの関係性について分析するとともに、より積極的な参加を引き出すインタラクションデザインについて検討していく必要がある。

6.2 共働的な学びへの展開

本節では、6.1章で考察したPoKeBoによる忘却行為およびヒントを提供する行為と共働的な学びの関連性について考察する。先述した通り、もの忘れをしたPoKeBoに対して答えを教える行為は「人助けをした感覚がして嬉しい」ものであり、子どもたちの自己肯定感の向上に効果があると考えている。また、PoKeBoからヒントをもらう行為は相互に支え合う関係を構築する要因の一つであると考えている。これらの二つは、デシ及びライアンが提唱した自己決定理論 [19] と深い結びつきがある。自己決定理論とは、ウェルビーイングを向上させる要因をまとめた理論であり、自律性、有能感、関係性という三つの心理的欲求が満たされることで幸福感が生み出されると考えられている。〈PoKeBo Cube〉における、PoKeBoを助けたことによる自己肯定感の向上は「有能感」に、PoKeBoと相互に支え合う関係を構築することは「関係性」にそれぞれ該当すると言える。また、子どもたちがPoKeBoと相互に協力し合う関係性を自律的に選択できるという点では、「自律性」にも該当すると考えられる。

本研究では、共に愉しみつつ、相互に協力しながら共通の目標を目指す学びを「共働的な学び」と定義してきた。今回の実験結果から〈PoKeBo Cube〉との協働学習を通して、先述した三つの心理的欲求が満たされ、子どもたちのウェルビーイングが向上することで、他者と共に学び合うことを愉しむ「共働的な学び」が実現されることが示唆された。ただし、今回実施した実験では、〈PoKeBo Cube〉において子どもの自律性を満たす要因について十分な議論をすることは困難なため、今後更なる検討を行っていく必要がある。

7 おわりに

本稿では、子どもたちとPoKeBoの教え合いを通して、相互に協力しながら学びを進めていく共働的な学習環境〈PoKeBo Cube〉を提案し、そのインタラクションデザインやフィールドワークの結果および考察について述べた。

〈PoKeBo Cube〉とのインタラクションにおいて、PoKeBoの忘却行為やヒントを提供する行為が子どもたちの積極的な態度を引き出すことが確認できた。特に、PoKeBoからヒントをもらうことで、子どもたちが深い関係性を構築できたと感じている点は、ロボットとの協働学習を実現する上での手法の一つとして有効なものであると言える。また、生成AIが急速に発達している今日、教育現場への効果的な導入方法について、日々議論がなされている。この議論においても、〈PoKeBo Cube〉の生成AIを活用してヒントを提供するという手法は、共働的な学びのためにあえて子どもを手助けするにとどめるという観点で議論の視点を広げる可能性がある。

今後の展望として、〈PoKeBo Cube〉のインタラクション形態をブラッシュアップし、子どもたちに飽きを感じさせない会話を実現していきたいと考えている。また、今回実施した実験では、子どもが1人で関わる場合のみを検証した。そのため、子どもが複数人の場合や子どもと保護者がいる場合においても同様の実験を行い、共働的な学びが実現されているかどうか、自己決定理論の自律性の観点も踏まえて検証していく予定である。

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ずデジタル・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示す。

参考文献

- [1] 岡田美智男, 松本信義, 塩瀬隆之, 藤井洋之, 李銘義, 三嶋博之: ロボットとのコミュニケーションにおけるミニマルデザイン; ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.7, No.2, pp.189-197 (2005).
- [2] 小野田慎平, 西脇裕作, 窪田裕大, 大島直樹, 岡田美智男: 子どもたちはときどきモノ忘れするロボット〈Talking-Bones〉とどのように関わるのか? - フィールドにおける調査結果とその考察 -; ヒ

- ューマンインタフェース学会論文誌, Vol.23, No.2, pp.213-226 (2021).
- [3] 文部科学省:GIGA スクール構想の実現へ;
https://www.mext.go.jp/content/20200625-mxt_syoto01-000003278_1.pdf.
 (2025/1/14 閲覧)
- [4] 文部科学省 初等中等教育局 修学支援・教材課:義務教育段階における 1 人 1 台端末の整備状況 (令和 4 年度末時点);
https://www.mext.go.jp/content/20230711-mxt_shuukyo01-000009827_01.pdf.
 (2025/1/14 閲覧)
- [5] 重田勝介: 反転授業 ICT による教育改革の進展; 情報管理, 第 56 巻, 10 号, pp.677-684 (2014) .
- [6] 文部科学省中央教育審議会: 子どもを取り巻く環境の変化を踏まえた今後の幼児教育の在り方について (答申) (2005).
- [7] 田丸敏高: 日本における「発達の最近接領域」概念理解の問題; 心理科学, 第 1 巻, 第 2 号, pp.12-23 (1977).
- [8] ジメネスフェリックス, 加納政芳, 吉川大弘, 古橋武: 学び方が変化するロボットとの共同学習がもたらす Learning by Observing の実現可能性, 人工知能学会論文誌, Vol.32, No.2, pp.D-G51.1-12, (2017).
- [9] 松添静子, 田中文英: 教育支援ロボットの賢さの違いが子どもの英単語学習に及ぼす影響, 人工知能学会論文誌, Vol.28, No.2, pp.170-178 (2013).
- [10] ジメネスフェリックス, 吉川大弘, 古橋武, 加納政芳: 感情表出モデルを用いたロボットとの共同学習がもたらす影響, 知能と情報 (日本ファジィ学会誌), Vol.28, No.4, pp.700-704 (2016).
- [11] 佐伯胖 (監修), 渡部信一 (編): 『「学び」の認知科学事典』大修館書店, (2010).
- [12] 岡部大介, 日本認知科学会 (編): 『ファンカルチャーのデザイン: 彼女らはいかに学び, 創り, 「推す」のか』共立出版, (2021).
- [13] Illich, I: Tools for conviviality, Harper & Row (1973).
- [14] 荷方邦夫: 共創的活動における共働的な協働: プロジェクト型デザイン教育実践での社会的相互作用分析: 認知科学, 第 31 巻, 第 3 号 (2024).
- [15] 真弓凌輔, 上野慎介, 大島直樹, 岡田美智男: PoKeBo³ 共構築型コミュニケーション空間の提案; ヒューマンインタフェースサイバーコロキウム, pp.67-70 (2020).
- [16] 小松孝徳, 山田誠二: 適応ギャップがユーザのエージェントに対する印象変化に与える影響, 人工知能学会論文誌, Vol.24, No.2, pp.232-240 (2009).
- [17] 久野義徳: エスノメソドロロジーに基づくロボット研究, 日本ロボット学会誌, Vol.29, No.1, pp.27-30 (2011).
- [18] 田中文英: 子どもとロボットのインタラクションにおけるエージェンシー, 日本ロボット学会誌, Vol.31, pp.858-859 (2013).
- [19] Ryan, R. M. and Deci, E. L.: Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. (2000).

付録

トランスクリプト記号

[オーバーラップの開始位置
]	オーバーラップの終了位置
=	切れ目のない接続
(数字)	その秒数の間隔があることを示す
(.)	ごく僅かの感知可能な感覚があることを示す
:	直前の音が引き延ばされていることを示す
-	直前の語や発話が中断されていることを示す
.	直前部分が下降調の抑揚で発話されていることを示す
?	直前部分が上昇調の抑揚で発話されていることを示す
<u>文字</u>	下線部分が強調されて発話されていることを示す
° 文字°	この記号で囲まれた部分が弱められて発話されていることを示す
((文字))	転記者による注釈・説明
→	分析において注目する行

発表者を表す記号

child	子どもによる発話
robotA~C	ロボットによる発話