

プログラミング的思考の育成をめざす ヒューマノイドロボットを導入した学習システムの構築

日浦美咲¹ 川本佳代^{1,2} 内田智之¹ 岩城敏¹ 林雄介² 平嶋宗²

概要: 現代社会においてプログラミング的思考の重要性が高まっている。それに伴い、教育現場ではさまざまなプログラミング的思考の育成方法が提案・実践されている。これまでの育成方法の多くは、学校で習得した知識に基づき設計されており、その知識が乏しい場合は育成効果が望めないことがある。本研究では、日常生活で自然と身に付けた知識や技術で取り組めるよう、ヒューマノイドロボットによる動作をフローチャートとして表現する課題を設計した。また、プログラミング的思考の育成をめざし、キットビルド方式に基づきその課題を実装した学習システムを構築した。さらに、評価実験の結果から、提案システムがプログラミング的思考の育成に有用であることを示した。

キーワード: プログラミング的思考, 学習システム, ヒューマノイドロボット, フローチャート, キットビルド方式

A Learning System Aiming to Foster Computational Thinking Using a Humanoid Robot

MISAKI HIURA^{†1} KAYO KAWAMOTO^{†1,2} TOMOYUKI UCHIDA^{†1}
SATOSHI IWAKI^{†1} YUSUKE HAYASHI^{†2} TSUKASA HIRASHIMA^{†2}

Abstract: The importance of computational thinking is increasing in modern society. Various methods of fostering computational thinking have been proposed and practiced in the field of education. Most of these methods are based on the knowledge acquired at school, which may not be effective when the knowledge is limited. In this paper, we design exercises to express the actions of a humanoid robot as flowcharts so that learners can work on it with knowledge and skills they have naturally acquired in their daily lives. Then, we develop a learning system that implements the exercises based on the kit-build method, aiming to foster computational thinking. From experimental results, we show that the proposed system is useful for fostering computational thinking.

Keywords: Computational Thinking, Learning System, Humanoid Robot, Flowchart, kit-build method

1. はじめに

現代社会において論理的思考は最も重要な能力の1つであり[1], 身に付けることが求められている。また、近年教育現場においては、論理的思考と関りの深い、プログラミング的思考が注目されてきている。特に、小学校の学習指導要領ではプログラミング教育を推奨しており[2], 小学校児童からのプログラミング的思考の育成がポイントの1つとして挙げられている。この育成のねらいは、プログラミング言語を覚えたり、プログラミングの技能を習得したりといったことではなく、プログラムの働きやよさ、情報社会がコンピュータをはじめとする情報技術によって支えられていることなどに気付き、身近な問題の解決に主体的に取り組む態度やコンピュータ等を上手に活用してよりよい社会を築いていこうとする態度などを育むことにある、とされている。

これまでも、プログラミング的思考や論理的思考の育成を目指して多くの研究がなされてきた。例えば川本ら[3]は、平面図形問題への解答を通して、論理的思考の育成を

めざすシステムを開発している。しかし、このシステムを利用するには、学習者が中学校程度の数学的知識を有する必要があると考えられる。また、林ら[4]は学習者が教科内で習った、もしくは学習者自身が知っている内容を、コミュニケーションロボットに教える活動を利用したプログラミング的思考の育成モデルを研究、開発している。しかし、この研究によるモデルを利用するためにもまた、学習者に学校で習うような一定の知識が必要である。したがって、これらのシステムは、学習者の知識が不足している場合、効果が期待できない。

そこで、本研究では、日常生活において身に付けた知識や技術だけで取り組めるようなシステムを開発することを目的とする。具体的には、ヒューマノイドロボットを導入し、ロボットの動作をフローチャートとして表現することを通してプログラミング的思考の育成をめざした学習環境を設計する。さらに、この環境を学習システムとして構築した。なお、設計した学習環境においては、プログラミング言語の習得やプログラミングそのものができるようにな

¹ 広島市立大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Hiroshima City University.

² 広島大学大学院先進理工系科学研究科
Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

ることを目的としておらず、このシステムを用いることによって、プログラミング的思考やこの思考のベースとなる論理的思考が育成されることをめざしている。さらに、構築した学習システムの評価実験を行い、そのシステムの有効性を示す。

2. プログラミング的思考とその関連研究

2.1 プログラミング的思考

小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議において、“読解力、論理的思考力、創造性、問題解決能力などは、時代を超えて常にその重要性が指摘されてきており、これからの時代においてもその重要性が変わることはない”とされている[5]。このことから論理的思考は、今後さらに国際化や情報化が進む社会の中で、普遍的に重要な能力だといえる。

また、プログラミング的思考と論理的思考の関わりは深く、文部科学省[6]によればプログラミング的思考とは、“自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力”であると定義されている。大森ら[7]は、プログラミング的思考に関する概念は「抽象化」、「パターン認識」、「分解」、「一般化」、「評価」の5項目からなると解釈している。本研究もこれにない、各概念について以下のように定義する。

- 抽象化：不要な部分を分離して複雑な事象をわかりやすくすること
- パターン認識：複雑な問題の解決を効率的に行うため、類似性とパターンを発見すること
- 分解：理解と点検をしやすくするため、問題をより小さな単位に分けること
- 一般化：合理化した手順とするため、規則化・定型化すること
- 評価：一連の手順を振り返り、必要に応じて修正・改善をしたり、次の問題解決に生かせるようにしたりすること

本研究の学習環境は、この概念を繰り返し思考することがプログラミング的思考の育成につながると考え、設計を行った。

2.2 関連研究

川本ら[3]は平面図形問題への解答を通して、論理的思考力の育成を目指すシステムを開発している。しかし、これらシステムを利用するためには、学習者が平面図形の性質を理解している必要がある。また、同様に川本ら[8]は数学的な証明の習得を通して、論理的思考力の育成を目指すシ

ステムを開発している。このシステムもまた、数学証明の中でも背理法や数学的帰納法を使った問題を使用しており、このシステムの利用のためには、学習者が高等学校程度の数学的知識を有している必要があるといえる。その結果、これらのシステムは、学習者の知識の多少によっては、論理の流れを深く考えることはできず、闇雲に試行錯誤するだけにとどまる可能性があり、学習効果が期待できないことが考えられる。

これに対して本研究では、日常生活において身に付けた知識や技術で取り組めるようなシステムを提案する。ヒューマノイドロボットを導入することで、幼いころから自然と培われた身体動作を学習のベースとし、数学や国語といった学校で学ぶような知識を用いることなく利用できる教材を作成できると考える。

ロボットを活用した論理的思考・プログラミング的思考の育成をめざした研究も進められている。林ら[4]は学習者が教科内で習った、もしくは学習者自身が知っている内容を、コミュニケーションロボットに教える活動を利用したプログラミング的思考育成モデルを研究、開発している。しかし、この研究によるモデルを利用するためには、学習者に一定の学校で習うような知識が必要であるといえる。このことから、このシステムについても前述のように、学習者の知識の多少によって効果が期待できないことが考えられる。よって本研究では、日常生活において自然と身に付けた知識や技術で取り組めるような課題を用いて、システムの設計、開発を行う。

荻原ら[9]は、車型のレゴマインドストーム NXT とプログラム作成環境を提供する教育用 NXT ソフトウェアを用いた、プログラミング教育の教材を研究している。しかしこの研究は、教材を扱うために、タイヤを制御するモーターの原理など小学校高学年の生徒が授業で学ぶような内容が必要となるほか、プログラミング自体についての理解を深めることも目的とされたものである。

対して本研究では、ロボットの動作作成にモーターなどの基礎知識を必要としない。また、本研究の学習システムは、プログラミングの習得そのものには重点を置いておらず、学習者がプログラミング的思考の流れを自然に行うことを通して、この能力の育成を支援するものである。また、本研究では、操作するロボットをヒューマノイドロボットとしたことで、動作を人間の身体をベースに考えることができ、モーターの回転速度などを考慮せず、より直感的にフローチャートの組み立てを行うことができると考える。

またほかにも、プログラミング的思考の育成を目的として学校現場やプログラミング教室で様々な活動が行われている[10]。しかしこれらは多くの場合、学習者が想像したロボットの動作を組み立て、その内容についてプレゼンテーションするなどの活動にとどまる場合が多く、学習過程や結果についての十分な評価はなされないことが多い。

本研究の学習システムでは、システムにより明確な正誤判定を行うことが可能である。キットビルド方式[11]を導入し、学習者の目視だけでなくシステムによる正誤判定を行うことで、学習者に対しプログラミング的思考のサイクルをスムーズに行うよう促すことが可能となる。また、組み立てたフローチャートの評価をシステム的に行うことで、一人一人の学習者が個々のレベルや学習速度に合わせて試行錯誤を行い、学習を進めることができる。

3. プログラミング的思考の育成をめざす学習環境

3.1 設計方針

本研究では、プログラミング的思考の育成をめざし、ヒューマノイドロボットを活用したフローチャート組み立て活動を設計する。

ヒューマノイドロボットを導入する利点として、ロボットの骨格や関節の動きが人間と近いことから、学習者が自身の身体の動きとロボットの動きを主観のおよび客観的に観察、比較しながら主体的に考えられることが挙げられる。つまり、目の前にあるロボットの動きをしっかりと観察し、分析することで、学習者は自身が想像した通りの操作が行えているかを2次元の画面の中ではなく、3次元的に確認することができる。また、ヒューマノイドロボットを用いることで、人間の身体動作という幼いころから自然と培われてきた知識を利用した問題を扱うことができるようになる。人の身体の動きを学習のベースとすることで、数学や国語といった学校で学ぶような知識を可能な限り用いることなく、多くの人が利用しやすい教材を作成できる。

本研究の提案システムにおいてはヒューマノイドロボット NAO (図1参照)を導入した。NAOは身長58センチメートルほどの二足歩行可能なロボットであり、25個の自由度やタッチセンサー、マイク、スピーカー等を備えている。

また、問題解決を行うためには、その問題の本質を読み取り、論理立てた解決策を与える必要がある。このことから、問題解決に導くまでの過程を自律的かつ論理的に構造立てて組み立てる活動は、問題解決のためのフローチャート組み立て課題ととらえることができる。

意味構造を2つ以上の概念(ノード)とそれらの関係(リンク)で表したグラフ(図的表現)を概念マップという。この概念マップを作成する活動を、教師が学習者に提供する概念マップの構成要素(キット)を学習者が組み立てる作業(ビルド)として行う方式を、キットビルド方式[11]という。

フローチャートにはノードとリンクという2つの構成要素が存在する。フローチャートを組み立てるためには、ノードやリンク間の論理的なつながりを意識する必要がある。さらに、フローチャートを組み立てる際は、開始から終了

までの、問題解決の過程や現実にかかる事象の流れを正確かつ論理的に認識しなければならない。これらのことから、フローチャートの組み立て活動を訓練することは、論理的思考やプログラミング的思考の育成に対し有効であると考えられる。本研究ではキットビルド方式に基づき、フローチャートの枠組みと、ノードに当てはめるためのパーツをキットとして捉える。フローチャートを組み立てるための要素をキットとして学習者に与え、学習者は課題に対するフローチャートを組み立てる活動を行う。これにより、学習者は解答までの過程を自律的に論理立てて考える経験を積むことができ、プログラミング的思考の育成につながると思われる。

本研究ではキットビルド方式を導入したフローチャートの組み立て演習を行うことで、プログラミング的思考の育成をめざす。具体的には、ロボットの身体動作を利用した問題についてのフローチャート組み立て演習を行うことで、プログラミング的思考に関わる概念を繰り返し思考しながら、プログラミング的思考の育成を図る。

また、様々な答えを持つような問いについて、複数の学習者が出す多様な回答に対し、一人の教師が即座に採点を行い、学習者へ即座にフィードバックを返すことは、時間的にも技術的にも容易ではない。しかし、キットビルド方式に基づき学習者にあらかじめキットを提供し、学習者が作成した概念マップと教師が作成した正答の概念マップを比較することで、システムによる即時フィードバックが可能となる。さらに、システムによる学習が可能となることで、一人一人の学習者が個々のレベルや学習速度に合わせて試行錯誤を行い、学習を進められるようになるといえる。



図1 ヒューマノイドロボット NAO

3.2 提案システムによる学習過程

学習環境に基づく学習システムは、ヒューマノイドロボット NAO、学習者が操作を行うタブレット、NAOの開発ツールである Choregraphe を用いて構築する。システムは、ロボットの動作を表現するフローチャートの組み立て課題を行うことを通して、プログラミング的思考を育成することを目的とする。

提案システムにおけるフローチャート組み立て課題は、①チュートリアル、②ロボットの動作を与えられたパ

ーツを用いてフローチャートとして表現する問題、③課題を表現するロボットの動作を与えられたパーツを用いて自由に組み立てる問題、の3種である。②におけるフローチャート組み立て課題に対する学習の流れを以下に示す。

学習過程1. 学習者はロボットの動作をヒューマノイドロボットによる実機動作で確認する。

学習過程2. 学習者はロボットの動作を細かく分析、分解し、動作の特徴やパターンを読み取り、表現に必要な要素を選び出す。

学習過程3. ロボットの動作を把握しながら、タブレット上であらかじめ用意された動きのパーツを用いてロボットの動作をフローチャートの形で表現する。

学習過程4. フローチャートで実現したロボットの動作と課題の動作を比較し、フローチャートの修正を繰り返しながら、課題と同じロボットの動作を作成する。

提案システムにおいて用意したパーツは、日常生活の中で得られた知識の中で選定が可能なものである。学習過程1, 2においてロボットの動作から特徴的な動きを分析、分解し、表現に必要な要素を選び出す活動を行うことで、プログラミング的思考についての5つの概念の内、「分解」「パターン認識」「抽象化」に結びつく体験を学習者に提供できると考える。また、学習過程3においては、用意されたフローチャートのパーツをヒントに「一般化」を行い、フローチャートの組み立て活動を学習者に行ってもらい学習過程4においては、組み立てたフローチャート通りのロボット動作と課題動作を、実機のロボットを用いて目視で比較することにより、自身の組み立てたフローチャートについて「評価」を行う。また、システムにより正誤判定が行われ、学習者は必要に応じてさらにフローチャートの改良を行う。

3.3 学習過程のシステムへの実現

(1) if文を用いた問題

ロボットの動作を与えられたパーツを用いてフローチャートとして表現する問題について、「if文を用いた問題画面」を示す(図2参照)。この画面では、左手を使った「ハイタッチ」の動作を題材に、課題と同じロボットの動作を表現するフローチャートの組み立てを行う。また、この画面では、ロボットに搭載されたセンサーや話す行為等を組み合わせ、if文のフローチャートの組み立てを行う。

「接続ボタン」を押すことで、ロボットとタブレットが接続される。「接続ボタン」を押した後、「立つボタン」を押すことでロボットが立ち上がり、待機状態となる。「座るボタン」を押すことでロボットが着席し、待機状態が解除される。「お手本実行ボタン」を押すことで、ロボットが課題の動作を実行する。学習者はお手本の動作を観察し、分析、分解を行う。次に赤枠の「パーツエリア」のパーツを

使い、青枠の「フローチャートエリア」の中にフローチャートを作成する。パーツはドラッグ&ドロップで「フローチャートエリア」に配置することができる。フローチャートを修正する場合は、配置されたパーツの上に重ねることで修正できる。

「解答ボタン」を押すことで、作成したフローチャートの正誤判定を行う。正解のフローチャートが組み立てられている場合は、「メッセージエリア」に正解を意味するメッセージと、「フローチャートエリア」に正解を意味する赤丸の画像が大きく表示される。しかし、一か所でもフローチャートに誤りがあった場合は、もう一度考えるよう促す文が「メッセージエリア」に表示される。

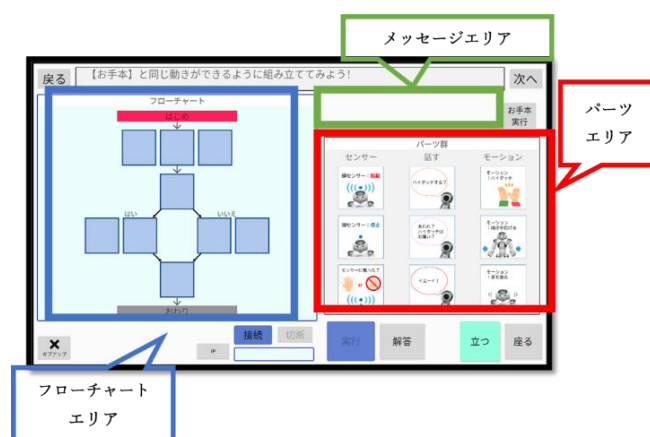


図2 if文を用いた問題画面

(2) for文を用いた問題

ロボットの動作を与えられたパーツを用いてフローチャートとして表現する問題について、「for文を用いた課題画面」を示す(図3, 図4参照)。

これらの画面では、動物の「ゴリラ」を表現する動作を題材に、課題と同じロボットの動作を表現するフローチャートの組み立てを行う。「お手本実行ボタン」を押すことで、ロボットが「ゴリラ」を表現した動作を実行する。学習者はお手本の動作を観察し、分析、分解を行う。次に赤枠の「パーツエリア」のパーツを使い、青枠のフローチャートエリアのなかにフローチャートを作成する。

まずパーツエリアから「頭」「右腕」「左腕」の3つの部位のパーツを選択し、「選択エリア」にドラッグ&ドロップで配置する。パーツは、3つの部位の動きを選択した後に「追加ボタン」を押すことで、「フローチャートエリア」の空欄の最上段に配置することができる。なお、この画面における「頭」パーツは3種類、「右腕」パーツは4種類、「左腕」パーツは4種類である。

「リセットボタン」を押すと、フローチャートが問題開始時の状態に戻る。「一つもどる」ボタンを押すと、直近にフローチャートに挿入したパーツを消してやりなおすことができる。「解答ボタン」を押すことで、作成したフローチャ

チャートの正誤判定を行う。正解のフローチャートが組み立てられている場合は、ロボットが「正解です」という音声を発するとともに、対応した特定の動作を実行する。しかし、一か所でもフローチャートに誤りがあった場合は、ロボットが「もう一回考えよう」という音声を発するとともに、対応した特定の動作を実行する。

また、図3ではゴリラの動作を表現した直線的なフローチャートを、図4では図3で組み立てた直線的なフローチャートを、再帰のある状態に縮めたフローチャートを組み立てる活動を行う。

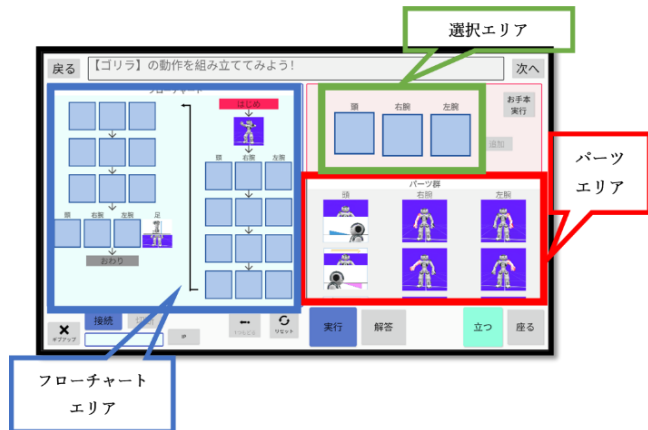


図3 for文を用いた問題画面①

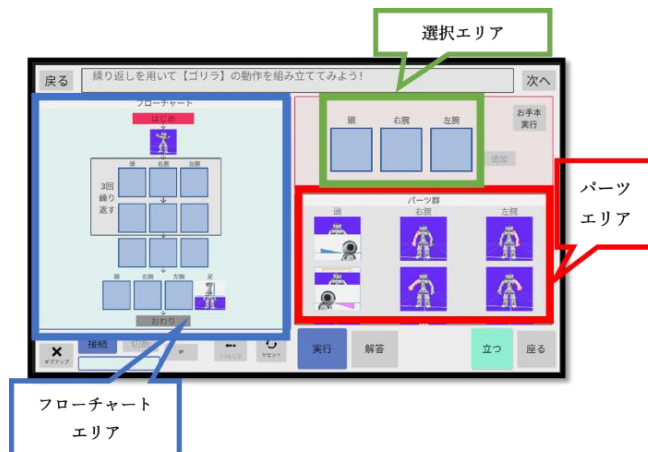


図4 for文を用いた問題画面②

(3) 課題を表現するロボットの動作を与えられたパーツを用いて自由に組み立てる問題(自由作成課題)

この問題には3問ある。この画面では指定された課題を表現するロボットの動作を、タブレット上にあらかじめ用意されたパーツを用いてフローチャートの形で自由に組み立てる学習を行う。課題は「鳥」、「ギター演奏」、「象」の3問である。

課題を表現するロボットの動作を与えられたパーツを用いて自由に組み立てる問題で用いた、「自由作成課題画面」の例を示す(図5参照)。

学習者はまず、課されたお題の動作を頭の中で思い浮かべる。その後、パーツエリアから「頭」「右腕」「左腕」「足」

の4つの部位のパーツを選択し、「選択エリア」にドラッグ&ドロップで配置する。パーツは、4つの部位の動きを選択した後に「追加ボタン」を押すことで、「フローチャートエリア」の空欄の最上段に配置することができる。なお、与えられるパーツの数と種類は課題の内容によって変化し、各部位について2から5個のパーツを用意した。

「リセットボタン」を押すと、フローチャートが問題開始時の状態に戻る。「一つもどる」ボタンを押すと、直近にフローチャートに挿入したパーツを消してやりなおすことができる。「回答ボタン」を押すことで作成したフローチャートがシステムに保存され完成となる。



図5 自由作成課題画面

4. 評価実験

4.1 実験協力者

実験協力者は情報科学を学ぶ大学生・大学院生10名である。実験は、実験協力者を無作為に、システムを用いて学習を行う学習者群6名と、学習者が作成したロボットの動作を評価する評価者群の4名に分けて行った。

4.2 実験手順

評価実験の流れを示す(図6参照)。

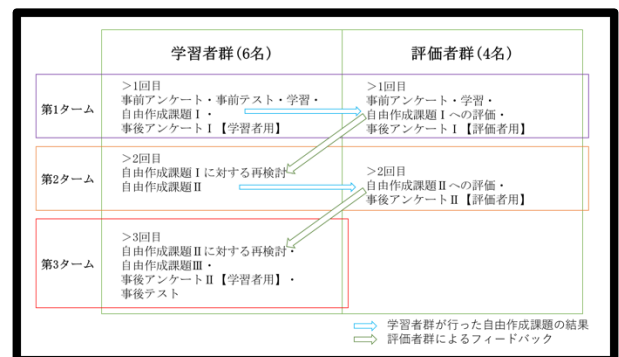


図6 評価実験の流れ

学習者群に対しては、まず1回目の実験として、「事前アンケート・事前テスト・学習(20分)・自由作成課題Ⅰ(10

分)・事後アンケートⅠ【学習者用】を実施した。次に2回目の実験として「自由作成課題Ⅰに対する再検討・自由作成課題Ⅱ(10分)」を行い、最後に「自由作成課題Ⅱに対する再検討・自由作成課題Ⅲ(10分)・事後アンケートⅡ【学習者用】・事後テスト」実施した。評価者群に対しては、まず1回目の実験として「事前アンケート・学習(20分)・自由作成課題Ⅰへの評価・事後アンケートⅠ【評価者用】」を実施した。次に2回目の実験として「自由作成課題Ⅱへの評価・事後アンケートⅡ【評価者用】」を実施した。なお学習者群に対する事前テスト・事後テストは共に、フローチャート組み立て問題等からなる同一の問題を使用した。

5. 実験結果と考察

5.1 実験協力者

表1 事前・事後テスト得点(t検定)

	平均	標準偏差	t検定(両側検定)
事前テスト	63.67	10.58	$t(5) = 2.32$ (.05 < p < .10)
事後テスト	70.83	9.14	

表1より、事前テストと事後テストの点数を比較したところ、事後テストの点数には増加がみられ、有意に高い傾向であった。これは、事前テストと事後テストが同一の問題であることから当然のこととも考えられるが、学習により点数が上がる傾向があった可能性がある。よって、提案システムを用いた学習が、プログラミング的思考の育成に有効であることが期待できる。このことは、ヒューマノイドロボットによるフローチャート組み立てを導入したプログラミング的思考育成システムによって、問題解決までの展開を筋道立てて考えることができたことによると考えられる。

5.2 事後アンケートの結果と考察

学習者群に実施した事後アンケートⅠ【学習者用】において、『チュートリアル』の際、注視したヒューマノイドロボットの体の部位に○をつけてください。(複数回答可)」と『ゴリラ』の課題の際、注視したヒューマノイドロボットの体の部位に○をつけてください。(複数回答可)」の質問についての結果を示す(表2参照)。

表2 注視したヒューマノイドロボットの部位

チュートリアル		ゴリラ(for文を用いた課題)	
右腕	1人	頭、両腕	5人
左腕	2人	両腕	1人
両腕	1人		
両足	1人		
頭、両腕、両足	1人		

また、学習者群に実施した事後アンケートⅠ【学習者用】で行った質問の一部と結果を、以下の①から⑥に示す。こ

れらの質問への回答をみると、学習者がプログラミング的思考を行っていたかどうか判断できると考える。アンケートは5段階で評価され、4・5を肯定の意見、1・2・3をその他の意見とし、該当する人数を集計した。その後、二項検定を行った(肯定回答の発生確率を40%とした)。

①『『ハイタッチ』『ゴリラ』の問題を解く際、ヒューマノイドロボットの動きを観察・分析して、一つ一つの細かいパーツで考えることを意識しましたか(肯定6:その他0, 二項検定 $p < .01$, $N = 6$)

②『『ハイタッチ』『ゴリラ』の問題を解く際、ヒューマノイドロボットの動きを何度も確認しましたか(肯定6:その他0, 二項検定 $p < .01$, $N = 6$)

③『『ハイタッチ』『ゴリラ』の問題を解く際、ロボットと自分自身の身体の動きを比較したり、自分の身体の動きを思い浮かべたりしましたか(肯定5:その他1, 二項検定 $p < .05$, $N = 6$)

④「課題を表す動作を自由に作成する際(鳥の動きを作るとき)、ヒューマノイドロボットの動きの一つ一つの細かいパーツで考えることを意識しましたか(肯定5:その他1, 二項検定 $p < .05$, $N = 6$)

⑤「課題を表す動作を自由に作成する際(鳥の動きを作るとき)、ロボットと自分自身の身体の動きを比較したり、自分自身の身体との関係を意識したりしましたか(肯定5:その他1, 二項検定 $p < .05$, $N = 6$)

⑥「課題を表す動作を自由に作成する際(鳥の動きを作るとき)、頭の中でロボットと人間の動きを比較したり、人間の身体の動きを思い浮かべたりしましたか(肯定6:その他0, 二項検定 $p < .01$, $N = 6$)

表2より、学習の最初に行った『チュートリアル』の問題では、6人の学習者の回答にばらつきがみられるのに対し、「ゴリラ(for文を用いた課題)」では6人の学習者全員が両腕を、また同時に、そのうちの5人が頭部を注視していたことが分かる。このことから、学習者は学習過程を経る中で、不要な部分を分離して複雑な事象をわかりやすくする「抽象化」の活動を行っていたと推察する。

①、②の質問に対しては、6人のうち全員が肯定的に答えている。このことから学習者は、何度もヒューマノイドロボットの動きを確認する過程で、問題をより小さな単位に分けて考える「分解」の活動を行っていたと考えられる。また、④の質問に対しても肯定的に答える学習者の割合が有意に高かったことから、同様のことが推察される。

③の質問については、肯定的に答える学習者の割合が有意に高かった。このことから学習者は、ヒューマノイドロボットの動きと自身の身体の動きの中に類似性や関係性を見出しており、プログラミング的思考の概念の中の「一般化」の活動を行っていたと考えることができる。また、⑤、⑥の質問に対して、肯定的に答える学習者の割合が有意に高かったことから、同様のことが推察される。

さらに、学習の中における for 文に関する問題について、学習者全員が正解に至ることができた。よって、このことから学習者は、プログラミング的思考の概念の内の「パターン認識」の活動を行っていたと推察する。

加えて、学習の中において学習者は、課題であるロボットの動作と自身が作った動作とを比較しながら、フローチャートの正解を導く活動を行っていた。このことから、学習者は学習の中で、プログラミング的思考の概念の内の「評価」の活動を行っていたと考えることができる。

次に、事後アンケートⅡ【学習者用】について、「あなたは、今回のヒューマノイドロボットを用いた学習（また今回行った学習に似た学習）を繰り返し行うことによって、論理的思考力が身につくと思いますか」という質問に対しては肯定的に答える学習者の割合が有意に高かった（肯定 5：その他 1，二項検定 $p < .05$ ， $N = 6$ ）。このことから、提案システムを用いて繰り返し学習を行うことにより、プログラミング的思考および論理的思考の育成に対して効果が期待できると考えられる。

また、学習者群に行った事後アンケートⅡ【学習者用】について、以下の①から⑦の質問を考察する。

①「課題を表す動作を自由に作成する際（象・ギターの動きを作るとき）、ヒューマノイドロボットの動きを一つ一つの細かなパーツで考えることを意識しましたか」（肯定 6：その他 0，二項検定 $p < .01$ ， $N = 6$ ）

②「課題を表す動作を自由に作成する際（象・ギターの動きを作るとき）、ロボットと自分自身の身体の動きを比較したり、自分自身の身体との関係を意識したりしましたか」（肯定 6：その他 0，二項検定 $p < .01$ ， $N = 6$ ）

③「課題を表す動作を自由に作成する際（象・ギターの動きを作るとき）、頭の中でロボットと人間の動きを比較したり、人間の身体の動きを思い浮かべたりしましたか」（肯定 6：その他 0，二項検定 $p < .01$ ， $N = 6$ ）

④「課題を表す動作を自由に作成する際、他者からの評価は参考になりましたか」（肯定 5：その他 1，二項検定 $p < .05$ ， $N = 6$ ）

⑤「このシステムの問題を解くうえで、ロボットの動作を細かなパーツのながれとして意識して考えましたか」（肯定 6：その他 0，二項検定 $p < .01$ ， $N = 6$ ）

⑥「ロボットの動作を作成する際、あらかじめある程度の計画を頭の中などで立てましたか」（肯定 5：その他 1，二項検定 $p < .05$ ， $N = 6$ ）

⑦「問題に間違えた時や、他者からの評価を得たとき、指摘された箇所を自分なりに分析しようと思いましたか」（肯定 5：その他 1，二項検定 $p < .05$ ， $N = 6$ ）

①、⑤の質問に対しては、6 人のうち全員が肯定的に答えている。また、⑥の質問については、肯定的に答える学習者の割合が有意に高かった。このことから学習者は、フローチャートの作成の前にロボットの動作の計画を立て、

そのうえでロボットの動作を細かなパーツの流れとして意識し、フローチャートの組み立てを行っていたと考えられ、問題をより小さな単位に分けて考える「分解」の活動を行っていたと推察される。

②、③の質問についても、6 人のうち全員が肯定的に答えている。このことから、学習者は自身の身体の動きや自分以外の人間の身体の動きを頭の中で思い浮かべ、それらとヒューマノイドロボットの動きの中に類似性や関係性を見出していると考えられる。従って、学習者はシステムによる学習の中で、プログラミング的思考の概念の中の「一般化」の活動を行っていたと推察する。

④、⑦の質問については、肯定的に回答する学習者の割合が有意に高かった。このことから学習者は、自身が課題を表して作った動作に対する他者からの評価を分析し、改善方法を考えていたことが推察される。これにより、学習者は学習の中で、プログラミング的思考の概念の内の「評価」の活動を行っていたと考えることができる。

また、学習者群について、「課題を表す動作を自由に作成する際、他者からの評価を受けて、ロボットの動きを作成する際に考えたことはありますか」という質問に自由記述で回答を行ってもらったところ、「知らない動作をのぞいたりして、ロボットが素早く動く様になりました」や「まずパーツの動きを全てチェックしてから、そのうえで使う組み合わせや順番を決めるようにしたこと」という回答が得られたことから、評価を見直す過程の中で、学習者がプログラミング的思考の概念の内の「抽象化」の活動を行っていたと推察する。

また、「今回の学習において、システムの使い方やロボットの動きの作り方を正しく理解して使い始めることができましたか。」には、6 人の内全員が肯定的に答えている（肯定 6：その他 0，二項検定 $p < .01$ ， $N = 6$ ）。このことから学習者は、システムの使い方を理解し、システムを利用してきいたと考えられる。一方、今回の評価実験は動画を使ってシステムの操作説明を行った。このことから今後は、システム内に使い方説明の画面を用意するなど、よりシステムの利便性を高める必要もあるといえる。

また、学習者群について行った事後アンケートⅠ【学習者用】について、「あなたは楽しく学習できましたか」という質問に対しては、肯定的に答える学習者の割合が有意に高かった（肯定 5：その他 1，二項検定 $p < .05$ ， $N = 6$ ）。加えて、評価者群についても 4 人全員が肯定的に答えていた。その理由については、「実際にロボットを動かして学習することにより、流れが分かりやすいため。また、自分で動かしているというワクワク感も出るため」や「実際に動くロボットを見ながら問題を解くことができ楽しくなったから」といった回答が得られた。このことから、学習者はシステムを利用した学習に楽しんで取り組むことができおり、積極的に学習を行うことが期待できる。

一方、得られた回答の中には「子供だましのような課題で退屈だった」という意見もあったことから、今後は問題数を増やし、学習者にあった難易度の問題を選定する必要があるとも考える。

さらに、今回学習したヒューマノイドロボットを用いた課題について、「難易度はどうでしたか」という質問について、5段階でアンケートを行った。4・5を難しい、3をどちらともいえない、1・2を簡単な意見とし、該当する人数を集計したところ、学習者群・評価者群ともに評価が分かれる結果となった（・学習者群、難しい:0人、どちらともいえない:4人、簡単:2人、・評価者群、難しい:3人、どちらともいえない:1人、簡単:0人）。このことから、学習者個人にあった難易度の問題を提示できるような機能を付け加える必要があるといえる。このための方法の一つとして、現状よりも問題を増やし、難易度の調整を可能にすることや、より多くの問題を繰り返し説くことができるようにすることを考える。また、現在のシステムは正誤のみのフィードバックであったが、より学習成果をあげるには、詳細なフィードバックが必要になると考えられ、この点についても検討が必要であるといえる。

また、「このシステムの問題を解くうえで、学校で学ぶような知識（数学・国語など）が必要だと思いますか（ただし『フローチャート』は除く）」の質問についても、5段階でアンケートを行った。1・2を否定の意見、3・4・5をその他の意見として、該当する人数を集計したところ、評価が分かれる結果となった（・学習者群、否定:3人、その他:3人、・評価者群、否定:2人、その他:2人）。学習者群・評価者群ともに、半数が提案システムを扱ううえで、学校で学ぶような知識は必要ないと回答している一方、半数はその他の回答を示した。これは、今回の実験協力者が情報科学を学ぶ大学生・大学院生であることから、実験協力者が if 文や for 文というアルゴリズムを講義の中で習得していたことで、回答に迷いが生じた結果だと考察する。今回の実験は大学生・大学院生を実験協力者としたが、今後はよりフローチャートの組み合わせのパターンの数を絞ったシステムを用いて、年齢の低い学習者への実験も行う必要があると考えられる。

また、システムに取り入れてほしい機能として、「頭、左手、右手、足のセットでのコピー&ペースト機能が欲しい」や「フローチャートの自由な箇所を選んで編集できればよかった」などといった意見があったため、学習意欲が高まるよう、これらの機能をシステムに取り入れることを検討する必要があると考える。

さらに、「パーツの違いを見分けるのが難しかった」という意見もあったことから、今後はパーツの表示画像を静止画から gif 形式の動画にするなど、パーツの提示方法を再検討し、改良することも必要であるといえる。

6. まとめ

ヒューマノイドロボットを用いたプログラミング的思考の育成をめざす学習環境を設計し、これに基づく学習システムを構築した。評価実験の結果から、提案したヒューマノイドロボットを用いたフローチャート組み立て課題を課す学習システムにより、プログラミング的思考の育成が期待できることが示唆された。

今後の課題として、学習者個人に合わせた学習を行うため問題数を増やすことや、作成したフローチャート改善を行いやすくすることが考えられる。また、課題に用いるロボット動作やフローチャートを作成する際のパーツの提示方法を再検討し、学習者がシステムをより使いやすくなるための改良することが挙げられる。さらに、よりフローチャートの組み合わせのパターン数を絞ったシステムを用いて、年齢の低い学習者への実験を行うことも必要だと考えられる。

謝辞

本研究は科研費(19K03059)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 科学技術の智プロジェクト“数理科学専門部会報告書”。
<http://literacy-report.scri.co.jp/2018/11/12/数理科学専門部会/>,
(参照 2022-1-29).
- [2] 文部科学省, “【総則編】小学校学習指導要領(平成 29 年告示) 解説”. https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387017_001.pdf, (参照 2022-1-14).
- [3] 川本佳代, 佐々木崇大, 内田智之, 林雄介, 平嶋宗. 平面図形問題を用いた論理的思考力育成支援システムの開発. 人工知能学会研究会資料, 2019, SIG-ALST-B901-04.
- [4] 林雄介, 福井昌則, 平嶋宗. 対話型ロボットを利用したプログラミング的思考の「教えることによる学習」. コンピュータ&エデュケーション, 2019, 46 巻, pp.38-45.
- [5] 文部科学省, “小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議”. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/_icsFiles/afieldfile/2016/05/06/1370404_1.pdf, (参照 2022-1-14).
- [6] 文部科学省, “小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)”. https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm, (参照 2022-1-14).
- [7] 大森康正, 磯部征尊, 上野朝大, 尾崎裕介, 山崎貞登. 小学校プログラミング教育の発達段階に沿った学習到達目標とカリキュラム・マネジメント. 上越教育大学研究紀要, 2017, 第 37 巻第 1 号, pp. 205-215.
- [8] 川本佳代, 古谷美夏, 宮脇綾子, 内田智之, 平嶋宗. 砂山渡. 数学証明問題を用いた論理的思考力育成システムの開発, 2018 年度人工知能学会全国大会(第 32 回). 2018, 1L301.
- [9] 萩原克幸. 小学校におけるロボットプログラミングの実践について. 三重大学教育学部研究紀要第 68 巻教育実践. 2017, pp. 307-315.
- [10] “子供のためのロボットプログラミング教室 ロボ団”. <https://robo-done.com/>, (参照 2022-1-29).
- [11] Hirashima, T. Yamasaki, K. Fukuda, H. Funaoi, H.. Kit-Build Concept Map for Automatic Diagnosis. In Proc. of International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2011), 2011, pp. 466-468.