

プログラミングロボットを用いた協調学習 ーグループ活動の活性化を促すためにー

布施泉*¹・野口孝文*¹
Email: ifuse@iic.hokudai.ac.jp

*¹: 北海道大学情報基盤センター

◎Key Words プログラミングロボット, 協調学習, ペア学習

1. はじめに

筆者らは、大学の一般教育で、独自のプログラミングロボットを用いた小人数（最大 23 名）の演習授業を 2018 年度から開講している。履修者は抽選で決定され、男女、文理等、属性は幅を持つ。授業終了時に行うアンケート調査結果は、年度に依らず、学習者の 9 割程度以上は興味・関心を持つとの肯定的な回答を得ている。この学習者の自己評価結果に加え、より詳細に学習者の状況を把握するため、2023 年度からは、学習者が実際にロボットに転送したプログラムのログを蓄積し、内容に応じた学習者支援を行っている。また、2023 年度からは、ペア学習を行う期間を授業構成に組み込み、個別学習、ペア学習、グループによる協調学習の順で、授業を実施している¹⁾。

2025 年度は、第 6 回と第 15 回（最終授業時）にロボットを用いた小演習課題（小テスト）を行った。その結果から、協調学習におけるグループ活動状況により、学習者の当該課題に対する理解状況が変わっている可能性が見受けられた。本報告では、2025 年度の授業を主対象とし、ペア活動の状況ならびに、グループ活動の活性化を示す指標を検討する。さらに、グループの活性化を促す協調学習のデザインを再検討・提案することを目的とする。

2. プログラミングロボットを用いた授業実践

2.1 プログラミングロボット

図 1 は、プログラミングロボットの外観とロボット前方にある 8 個の赤 LED の点灯・消灯による移動・回転・停止命令との対応関係を示す模式図である。本ロボットは高級言語を用いず、機械語もしくはアセンブリ言語にてプログラムを作る。また初回はロボットに直接命令を入力し操作するが、2 回目以降は大学設置の PC に支援システムを組み込んだ USB メモリを挿入し、PC を通じてロボットにプログラムを転送する形で授業を行っている。

一般に、機械語を用いたプログラミングは、命令の理解が難しく初学者への適用は懸念されるが、本ロボットは LED の点灯・消灯(1/0)と直接対応させた 8bit 命令を基本表現としているため、学習者は感覚的に理解可能である。

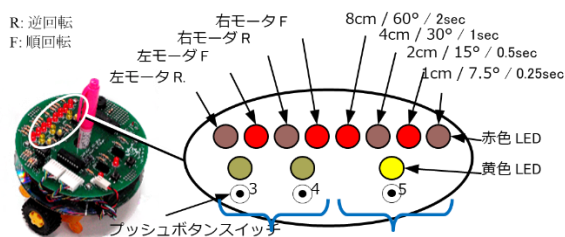


図 1 用いるロボットの外観と命令・動作の対応関係

表 1 2024 年度以降の授業構成の詳細

授業回	スタイル	概要
1-4	個別	基本操作・繰り返し・PC 利用・条件分岐・光センサ利用
5-8	ペア	ペアでの相談を推奨した課題解決（個別 3 種、ペア 1 種）
9-13	グループ	4-6 名グループを形成しロボット作品の企画・実装
14	発表会	発表会・相互評価
15	まとめ	振り返りと確認の小演習課題

具体的には上位 4bit は、左右の車輪と接続しているモータの逆回転・順回転を各 2bit で指示する。両モータが順（逆）方向に揃っている場合には、ロボットは前後へ移動する。左右で、順回転・逆回転と異なる指示をする場合は、その指示に従ってロボットは回転する。左右のモータの動作を指示する上位 4bit の LED が全て消灯した場合は停止命令である。下位 4bit は動作量を指示し、移動命令の単位は 1cm、回転命令の単位は 7.5°、停止命令の単位は 0.25 秒としている。例えば、2 進表現 5C (0101 1100) は、8+4 単位量であり、12cm 前進という命令になる。このルールを理解することで、0/1 の並びを 4 つずつ区切る 16 進表現のメリットや前進命令は「5n (n は 0~F)」となる等のロボットの基本命令の概念も理解可能である。

基本動作での命令（順次処理）を理解した後は、左右のモータの移動量を 2Byte で別指定する円弧命令、レジスタ（アキュムレータ）を用いた各種演算命令、3 種のジャンプ命令（無条件ジャンプ JMP、スイッチ押下によるジャンプ JMP_SW、演算結果のフラグを用いたジャンプ JMP_F）を用いた、条件分岐、反復処理を学ぶ構成とした。また、音を鳴らす命令も用意している。

2.2 授業構成

表 1 に半期 15 回の授業構成を示す。個別学習によりロボットの基本操作を学んだのちに、図 1 のボタンスイッチを用いた条件分岐処理を第 3 回で行う。その後、第 4 回ではスイッチ押下を光センサに置き換えることで、センサの利用を学ぶ。光センサは、3 つまでロボットに装着できる。装着位置は任意ではあるものの、ロボット底面には装着のためのくぼみを作っている。その指定位置にセンサを装着した場合は、床面の白黒で ON/OFF を判別できるように調整しており、底面に 2 個センサを取り付けることで、ラインレースができる仕組みとしている。

この個別学習の段階を経た後に、ペア学習に移行する。

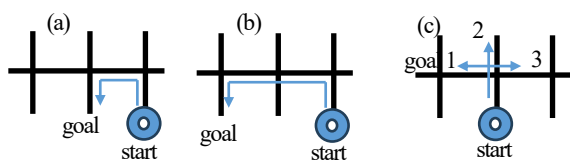


図 2 個別課題 3 種, (c)の 3 分岐課題は乱数を利用

ペア学習は、ペアでの教えあいを想定して、各種課題を実施するロボット活用期間として設定している。課題内容は個別課題 3 種とペア課題 1 種を用意している。個別課題においても、不明点があればペアでの相談を推奨している。教授者も学習者からの求めにより、適宜対応をしているものの、ペアの学習者に不明点を聞く方が学習者は気軽に理解しやすいようである。

個別課題では、主にレジスタの利用とジャンプ命令 (JMP, JMP_SW, JMP_F) を用いて、格子模様のボード上を、指定通りにロボットが動くプログラムを作成する。なお課題(c)では、乱数の値による 3 分岐での移動を求めるが、分岐の割合は一律でなくてよいこととしている。その実装は、データのある番地に置き、その値とレジスタの値とを比較演算して分岐するもの、シフト演算を用いるもの等、達成プログラムは一通りではない。これら複数の課題に取り組む過程で、学習者はレジスタの使い方を学び、繰り返し回数を制御できるようになることを目指す。

その上で、ペア課題は、ボールの授受をペアで行うものとした。図2に示すボード上を動かすことは変わらない。対角 (図 2 では右下と左上の位置に対応) に置いた 2 台のロボットは、同時に格子上を動き、中央でボール授受を行うものである。ペアはボールの渡す側、受ける側に分かれ、それぞれが自分のロボットのプログラムを行う。ロボットに装着するホール把持の道具を利用したプログラミングであり、道具ならびにライントレース用のセンサ 2 個を装着したロボット画像例を図 3 に示す。一般のペアプログラミングでは、一画面上で、一人がプログラムを作成し一人がその確認をする分業制が従来から行われているが、本実践では、ペアが教えあいながら各自のロボットを協力させ、ペア課題をクリアすることを求めている点に新規性がある。位置合わせや授受後の停止処理等、成功率をあげる工夫をしながらペアで取り組む。なお学習者数が奇数のため、1 ペアは 3 名構成とした。



図 3 ボール把持道具とセンサ 2 個を装着したロボット

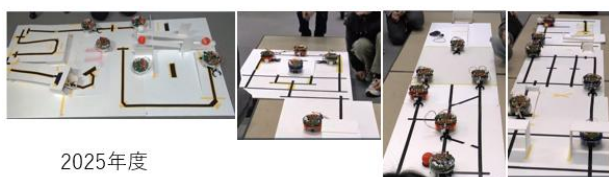


図 4 ボール把持道具とセンサ 2 個を装着したロボット

このペア学習は 2023 年度から取り入れたが、道具を用いたペア課題は 2024 年度から実施した。また、2024 年度は、個別課題 3 題を早く終えた人同士でペアを組むよう、途中で一部ペアの組み換えを行ったが、2025 年度は全てのペアを保持して授業を進めた。また、年度に依らず最初のペアは着席位置で隣同士の学習者で構成している。

ペア学習を終えた後には、ペアを 2-3 チーム組み合わせてグループを構成し、14 回授業で行うロボット作品の企画と実装プログラムを作るグループ学習に入る。授業では、同じロボットを半期用いるため、初期には同じ席に座らせている。つまり 2025 年度は、隣同士になった学習者同士は、終盤のグループ活動まで、一貫しての協力体制を取るようにしたことになる。

2025 年度は、23 名を 4 チームに分け、5-6 名のメンバー構成とした。発表会におけるロボット作品の画面例を図 4 に示す。黒テープを多用しており、ライントレースを含む比較的複雑なプログラムを実装しようとしていることが見受けられる。

グループ作品制作時に課した条件 (抜粋) を以下に示す。

- ・ 全てのロボットは 0 番地からプログラムをスタートさせる。最初のロボットのセンサを検知して動作を開始する。
- ・ 実行後は、終了まで原則ロボットには触れない
- ・ グループ員全員のロボットを動作させる
- ・ 各ロボットで最低 1 個のセンサを必ず用いる
- ・ 少なくとも 1 台は音を出す
- ・ グループで 1 つ以上のボールを使う (※ボールは 3D プリンタで制作しており白赤の 2 種がある)
- ・ 舞台は教壇 90 cm×180cm を 2-3 つ組み合わせたものを原則とする (組み合わせは縦横自由)。
- ・ 上記以外の要素が入ってもよい

2.3 2025 年度に実施した 2 回の小演習課題

本ロボットを用いたプログラミングのポイントの一つは、レジスタとジャンプ命令を組み合わせた各種分岐処理と繰り返し処理を活用することである。これにより、ロボットに複雑な動作を指示することが可能となる。学習者には、ペア学習で各種課題に取り組む中で、レジスタの利用とジャンプ命令の使い方の理解促進を図る授業構成としているつもりではあるが、実際に学習者がどの程度の理解状況であるかを、2025 年度は計 2 回の小演習を実施することにより確認した。

まず、小演習課題時には他者との相談はしない、ロボットのマニュアルは確認してよい、という条件下で、ロボットを動かしながら設問に解答する形式のものとした。この解答状況で学習者の理解状況を確認する。

第 6 回の授業開始時には、2 題の小演習 (確認テスト) を行った。第 6 回は、個別課題 3 題を完了させる学習者が発生する程度の進捗状況であり、ペア課題に取り組む前の状況である。小演習の設問 2 題は、ともに 2 種類の条件付きジャンプ命令を含むもので、いずれも具体的なプログラムを提示する。そのプログラムの動作内容を記述する課題(Q1)と、間違いを指摘させる課題(Q2)とした。

表 2 第 6 回ならびに第 15 回の小演習結果 (単位: 名)

回・設問	正解	不十分	不正解
6 回 Q1	12	7	2
6 回 Q2	13	2	6
15 回 Q1	14	5	3
15 回 Q2	16	2	4
15 回 Q3	12	6	4
15 回 Q3 理解	13	2	7

提示したプログラムは、各学習者がロボット内に転送させ、動作を確認した上で、解答する。

また、最終授業時には、3 つの小演習課題を実施した。レジスタとジャンプ命令を用いて、正多角形の軌跡を描くプログラムを作る課題 (Q1)、スイッチを押して前進するプログラムと押して離すと前進するプログラムを 2 種のプログラムを具体的に提示し、それらプログラムの違いと特徴を記述する課題 (Q2)、Q2 のプログラムを修正し、ボタンを押す (押して離す) 動作を 3 回繰り返すと実行するプログラムとし、両者の特徴とどちらのプログラムがより適切かを検討する課題 (Q3) の 3 題である。実際のプログラム作成、ならびに記述を伴う設問であり、記述状況により当該学習者の理解状況が推定可能である。

表 2 に小演習の結果を示した。第 6 回 Q2 の誤り修正の小演習の正解状況 (13, 2, 6 名) と、第 15 回 Q3 の理解状況 (13, 2, 7 名) は、分布がほぼ一致しているが、同じ学習者で構成されているとは限らない。この点は、次章で述べる。なお、全体としては、多くの学習者が指定されたプログラムを実装することができたことを示している。

2.4 最終授業時のアンケート結果

最終授業時に、学習者にアンケート調査への協力を依頼した。なおアンケートに回答せずとも、成績評価には一切関係せず、結果は研究に使う旨も説明している。ここでは次章の分析の際に用いる「ロボットの動作をプログラムすることは面白いと思う」「プログラミングに対する興味が増したと思う」「もっと複雑なプログラムを作りたいと思う」「ロボットのプログラム作成 (考えたとおりに動作させる) は簡単だった」の 4 設問の結果を示す。いずれも回答は「強くそう思う」「そう思う」「あまり思わない」「まったく思わない」の 4 択から回答する。2024 年度との比較のため 2024、2025 年度の回答結果を図 5 に示す。

ロボットに対する興味・面白さの傾向はほぼ変わらないが、「より複雑なプログラムを作りたいと思う」、「考えたとおりに動作させることは簡単であった」の設問は、2024 年度の肯定割合が高いように見える。これは、前述した通り、グループの作品企画が 2024 年度に比較して難易度が高いこととも関係すると考えられる。

3. 結果と考察

3.1 2024 年度と 2025 年度のグループ活動の比較

前述の結果をグループ毎の結果として確認していく。まず、表 2 に示した小演習課題に関し、グループ構成員全体の正誤割合を確認した。また、最終授業時の調査結果について、横軸を「より複雑なプログラムを作りたいと思う」という設問へのグループ構成員の肯定・否定の割合

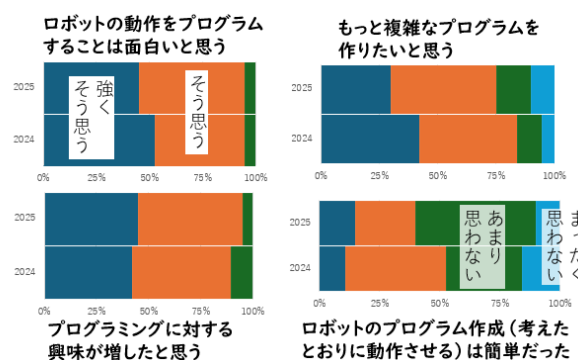


図 5 調査結果 (2024 年度 19 名 2025 年度 20 名が回答)

とし、縦軸を「考えたとおりにロボットを動作させることが簡単か」の設問について、構成員の肯定・否定割合として図示したものが図 6 である。グループ構成員全員が肯定回答であれば 1、肯定・否定が半数ずつであれば 0 となる指標である。また、図 6 には、当該グループにおける最終授業時の Q3 理解状況を併せて付記した。また、便宜的にグループ番号を図 6 の横軸が高い順に①②③④と付与して表記した。

横軸が 1 であれば授業終了時にグループ構成員全員がより複雑なプログラムの作成意欲を持っていることを示す。2024 年度、2025 年度とも各 1 グループが該当した。図 6 より、グループ①の両グループにおける 15 回 Q3 理解度は高く (2024 年度は 80%、2025 年度は 92%)、ジャンプ命令とレジスタの利用を多くのグループ構成員が理解していることが分かる。また、それはそもそものグループ構成員の力量が高いためかどうかを確認するため、第 6 回の小演習結果におけるグループ比較を表 3 に示した。全体として、グループ①の構成員の理解度が最初から高かったわけではないことが、表 3 の 6Q2 の正答割合の結果から明らかである。

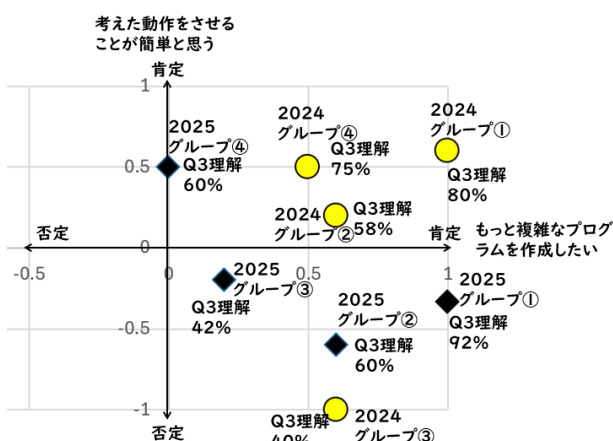


図 6 調査結果 (2024 年度 19 名 2025 年度 20 名が回答)

表 3 2025 年度小演習のグループ毎の正答割合

グループと 図 6 横軸の値	6Q1	6Q2	15Q1	15Q3 理 解
①1.0	0.83	0.58	0.75	0.92
②0.6	0.88	0.88	0.90	0.6
③0.2	0.6	0.60	0.67	0.42
④0.0	0.67	0.67	0.70	0.6

表 4 2025 年度の各期間（授業時）におけるグループ毎の学習者 1 名あたりのロボット転送プログラム数の総計

グループ	ペア (5-8 回)	グループ (9-13 回)
①	28.5	19.5
②	29.8	31.8
③	28.0	23.0
④	38.0	15.5

15Q3 は、ロボットが動作するキーとなるイベントを待つタイプの反復処理が必要なプログラムを作成する。ボタンを押して離れた際に動作するプログラムは、同じ番地への条件ジャンプ命令が必要になる。2025 年度のグループ①では、実際のグループ活動時に、ボタン動作によるジャンプ命令を工夫していたこともあり、実体験として学習者が状況を理解できたために、極めて高い理解 (15Q3 の理解割合が 92%) になったものと考えられる。

なお、図 6 の横軸の分布状況からは、2024 年度の方が 2025 年度に比して、全体に正方向にグループが集中して位置しており、授業終了時点の意欲状況は、全体としてみれば 2024 年度の方が高かった可能性がある。また、図 6 の縦軸についても、2025 年度は負の方向に偏っていることがわかる。これはグループ企画の難易度が高く、思ったようにロボットを動かすことができなかったことを意味しているとも考えられる。結果的に企画を高難易度にしたことで、レジスタとジャンプ命令の基本事項についての理解促進を妨げた可能性もある。

グループ企画の難易度を適正化についても、授業途中でも適宜評価を行い、支援する必要があると考える。

3.2 2025 年度のペア活動とグループ活動の状況

2025 年度の授業では、前述の通りペアの組み換えは行わなかった。そのため、理解が進んでいる学習者が、相手の進行を待つこととなり、より高い課題を課すことができなかったことも考えられる。グループ毎に、各期間にどの程度のプログラムをロボットに転送していたか、授業時に限定して各グループの転送数の比較を行った結果を表 4 に示す。グループ①は、全体としてプログラム転送数は多くはないが、当該グループは授業時間外での転送数が多く、今回の議論からは除外する。本稿ではグループ④に焦点を当てて議論する。グループ④は、ペア学習時は多数のプログラムを転送実行していた。しかし、グループ活動に移った後は、プログラム転送数が他のグループに比べ極端に少ない。この結果から、グループ内での企画相談ならびに協調学習における活動があまり上手いかなかったことが示唆される。表 2、表 3 で、学習者の理解状況を小演習で把握したが、理解が不十分な学習者に対しては、ペア学習やグループ学習により、課題解決の経験を積みながら理解促進を目指した授業構成を教授者は想定していた。しかし、グループ④では、グループ活動時にプログラム転送回数が少なく、ロボットプログラミングにおける試行錯誤を行っていない。このような状況では、第 6 回の時点で理解が不十分な学習者は、それ以上の理解が得られていないことが懸念される。さらには、第 6 回では理解していたはずの学習者の一部が、理解が定着されず、第 15 回時の理解状況が第 6 回に比して退行した結果も確認された。そのため、最終授業時の調査では、より複

雑なプログラムを欲する意欲が、グループ全体として低い結果として現れたと考えられる。

このように、図 6 の二次元マップによる各グループの活動状況を可視化することは、グループ活性化の状態を把握するために有益な情報であることが期待される。2025 年度は授業終了時に確認しただけであるが、今後の実践においては、毎授業の終了時に学習者意欲を確認する設問を付加し、ペア状況ならびにグループ状況を把握しながら授業を推進することが必要であると考えられる。

4. おわりに

本稿では、独自のプログラミングロボットを用いた大学 1 年生に対する演習授業において、授業時に行った小演習の結果、グループ構成員の授業終了時の調査状況、ならびにグループ毎のロボット転送の状況把握により、協調学習におけるグループ活動の活性状況が把握できる可能性について検討した。また、グループ活動がプログラミングの理解促進にもたらす影響に関しても考察した。

本授業は選択科目による授業であり、抽選で履修者が決まるシステムから、学習者の授業開始時の知識習得状況には幅がある。授業終了時のアンケート調査では、年度に依らず、学習者の 9 割程度以上は興味・関心に対して肯定的な回答をしているが、学習者の主観評価に加え、本稿では実際の課題による客観評価を踏まえ、学習者の理解状況とグループの活性化状況との関係を示した。

結論として、グループによる協調活動が活性化しているグループでは、第 6 回時に理解が不十分であった学習者も協調活動を通じて、当該のプログラミングに対する理解促進が見受けられた。そのようなグループ構成員は、「より深いプログラミングを行いたい」という意欲が全体として高くなる傾向がある。一方、グループによる協調学習が思うように進んでいないグループでは、最終的な理解度に差異が生じていた。知識習得状況が低めの学習者は、協調学習での協調活動が芳しくないため、理解促進は不十分であり、低いままであるものがある。さらには理解の定着がなされず、第 15 回時に理解が退行したように見受けられる場合も一部で見受けられた。

以上から、グループ活動における活性化状況を毎授業時に把握しながら授業を推進することを検討していく。また、2024 年度はペア学習時にペアの組み換えを行い、2025 年度はペアを継続して学習を進めた。どちらが良いかは一長一短であるものの、2026 年度の実践では、今一度、ペアの組み換えを行う方針で授業設計を変更し、先に進むペアには、さらなる課題を課すことを検討する。最終的なグループでの協調活動時に学習者全体の理解促進がなされるように、グループ活性状況を踏まえた支援体制についても検討を進めていく。

謝辞 研究支援推進員の伊藤恵理さんには、道具・ロボット台座の制作で支援を受けた。ここに深く感謝する。

参考文献

- (1) Izumi Fuse and Takafumi Noguchi: "Effectiveness of Tool Use in Robot-Based Programming Education for Courses with Learners of Varying Knowledge Levels", Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.38 No.1, pp. 276-287, Feb. 20, 2026.