

論文

ピクトグラミング——人型ピクトグラムを用いた プログラミング学習環境

伊藤 一成^{1,a)}

受付日 2017年8月27日, 再受付日 2017年11月27日/2018年1月27日,
採録日 2018年3月3日

概要: 本論文では, 人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境「Pictogramming (ピクトグラミング)」を提案する. Pictogramming は Pictogram と Programming を合わせた造語である. ピクトグラムは表現の抽象度の高さから, それを見た人物が自分自身や本人に関わる人物事物を想起させる効果があるといわれている. 人型ピクトグラムを人間の動作に模倣して動かす, 今回実装したプログラミング学習環境は, 構築主義の提唱で知られる Papert が重要視する同調的学習の概念と相性が良い. 人型ピクトグラムを変形する“ピクトアニメーション”コマンドと移動の軌跡を図として表示する“ピクトグラフィックス”の2種類のコマンドを併用することで, コンパクトな命令セットで, かつスモールステップ学習可能な環境のため, 短時間でピクトグラムのデザイン指針に準じた多様な作品を作成することができる. 実際に100人程度の中中学生を対象とした実践授業を行い, 提案アプリケーションの有用性や教育現場での利活用の展望について観察, アンケート, 理解度テストの3点から評価・分析した. 観察の結果, “ピクトグラフィックス”を学習した授業で, 人型ピクトグラムの動作を学習者自身が模倣する動作が見られた. またアンケート, 理解度テストいずれも概して良好な結果を得, 同調的学習を喚起させたと思われるアンケート回答もいくつか見られた. ただし, 条件分岐を学習する授業については, 他の授業よりアンケート, 理解度テストともに有意に低い結果となっており, 検討・改善の余地がある結果となった.

キーワード: 人型ピクトグラム, プログラミング学習, 同調的学習, 視覚的顕在化

Pictogramming — Programming Learning Environment using Human Pictogram

KAZUNARI ITO^{1,a)}

Received: August 27, 2017, Revised: November 27, 2017/January 27, 2018,
Accepted: March 3, 2018

Abstract: This paper proposes a new learning environment for programming called “pictogramming.” The term pictogramming has been coined from two words - “pictogram” and “programming.” The proposed study is based on the application of a human shaped pictogram (i.e., a human pictogram). Generally, pictograms tend to resemble a person or some object, based on an abstract representation. The human pictogram is often associated with syntonic learning and visual manifestation. The proposed application can display a human pictogram as defined by ISO. The body of the human pictogram consists of nine body parts. In the proposed study, these body parts can be graphically moved around by using a command sequence called the “pictogram animation command.” The proposed application can also draw the associated movement history, called “pictogram graphics.” The combination of both these aforementioned functions enables gradual learning within a short period of time by employing a relatively small set of programming commands. The effectiveness of the proposed application was evaluated with the help of approximately one hundred junior high school students. The evaluation was conducted from various perspectives such as observation, questionnaires, and comprehension tests. Majority of the obtained results have been found to be favorable and certain answers to the questionnaires can be observed that stimulate syntonic learning. However, it is necessary to improve the content and the associated methods for learning conditional branching because both results of the questionnaires and comprehension tests were significantly low.

Keywords: human pictogram, programming learning, syntonic learning, visual manifestation

1. はじめに

本論文では、人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境「Pictogramming (ピクトグラミング)」を設計・構築し、その特性を示すことを目的としている。Pictogramming は筆者が提案する、Pictogram (ピクトグラム) と Programming (プログラミング) を合わせた造語である。

ピクトグラムとは日本語で絵記号、図記号と呼ばれるグラフィックシンボルであり、意味するものの形状を使ってその意味概念を理解させる記号である。

共通化の重要性から ISO (国際標準化機構) を中心に規格の審議や策定が進められており、たとえば、案内用図記号は ISO7001, 安全用の図記号は ISO7010, 装置用図記号は ISO7000 など、ピクトグラムは案内, 安全, 施設, 機器等々, 様々な用途で標準化されている。また ISO3864 では、禁止, 注意, 指示, 安全の 4 項目に関するピクトグラムデザインに関し、文字や矢印などの図形を併記する際のガイドラインが策定されている。通常、世の中に広く普及しているピクトグラムは作成ガイドラインに則りデザインされており、また伝達すべき内容が人の行為や状態に関するピクトグラムが多い。そのため ISO3864 の付録には、人間の形状のピクトグラムに特化した作成ガイドラインが提示されている。以後本論文では、このピクトグラムを人型ピクトグラムと呼称する。

ピクトグラムは、世界共通の記号表現として世界中で用いられているが、特に近年のグローバル化やその流れにもなう外国人観光客の急激な増加などの理由もあり、一例をあげるだけでも、感性工学 [1], 異文化コミュニケーション [2], メディア情報処理 [3], 記号論 [4] など様々な学問領域でピクトグラムを題材とする研究がさかんになっている。

以下 2 章では、構築に至った経緯や設計指針を、ピクトグラムの特性の解説を含め、関連研究を示しながら示す。3 章で、構築した学習環境を解説し、4 章でその環境での学習プロセスを提示する。5 章で実践授業の概要、6 章でそれを評価する。7 章では、特に初等中等教育におけるプログラミング教育の現状を考慮しつつ、本学習環境の長所を他のプログラミング学習環境との比較を通じて論じ、8 章でまとめる。

2. 設計指針

本章では、プログラミング学習環境に人型ピクトグラムを用いることとした着眼の理由、設計指針について述べたうえで、最後に実装における指針をまとめる。

2.1 人型ピクトグラム着眼の理由

ピクトグラムは表現の抽象度の高さから、それを見た人物が自分自身や本人に関わる人物事物など想起させる効果があるといわれている。有名な「非常口」のピクトグラムは、デザイン策定の段階で、実際に避難中の人がいかに出口へ向かって走る人型ピクトグラムと自身とを同一視するかにデザインの労力が払われた [5]。木全は、「現代はマーク氾濫時代であり、マークには人のシンボル化という心理的機能に訴え、感情を呼び覚ます力がある。学習不要なマークであるピクトグラムは見た瞬間、ダイレクトに人の感情を誘う魅力を持っている。人型の絵が使われると、見る人はとたんにそのピクトグラムに感情移入してしまう」と述べている [6]。

熊崎らは、従来の対話型のインタラクティブシステムの研究では、人が対人的な反応をとってしまう人工物と人の間に、人と人のような自然な関係性が構築されておらず、人と人工物の間に自然な関係性を構築するためには、人から人工物への自発的な関与を引き出す必要があると述べている。そのうえで、人は棒人間のような単純な物体でも、同じコンテキストのもとで、自分の振舞いをデフォルメした棒人間にデザインすることで、その振舞いから感情を推測し、共感できるという仮説を立て、実験によって検証している [7]。この人型ピクトグラムをプログラミング学習の題材にするうえで参考にした“同調的学習”と“視覚的顕在化”について解説する。

2.2 同調的学習

LOGO を開発した Papert は、子どもが自分自身の体を使ってターゲットになったふりをするすることで、LOGO の命令を実行することができるという特徴に大きな重要性を見だし、これを同調的学習と呼んだ [8]。書籍 [8] では、自分の身体に対する感覚や知識と強く結びついている (身体同調) こと、意図や目的、欲求、好き嫌いを持った人間としての自意識と一貫している (自我同調) こと、文化にしっかりと肯定的に根を張った活動に結びついている (文化同調) ことが示されている。同調的学習の観点からいえば、学習者にとって普段から慣れ親しんだ興味・関心があるテーマを採用するアプローチが有効である。たとえば、長瀧はテレビゲームに慣れ親しんでいる学生が多いことに着目し、これを題材にした情報科学を概観する授業カリキュラムを提案している [9]。また、プログラミング学習教材には、メカニカルな玩具がよく用いられるが女性はあまり興味を示さないことがいわれており、坂本らは特に女性にも関心を持ってもらうため、可愛いユーザーインターフェースを備えたプログラミング学習ツールを提案している [10]。

2.3 視覚的顕在化

岡本らは、プログラミングの概念理解に関して、出力の

¹ 青山学院大学
Aoyama Gakuin University, Sagami-hara, Kanagawa 252-5258, Japan

a) kaz@si.aoyama.ac.jp

表 1 視覚的顕在化と具体的解決方法 (文献 [11] より抜粋要約)

Table 1 Visual manifestation in computer programming learning (from Ref. [11]).

視覚的顕在化の4つの状態	具体的解決方法
視認性 (大きさ, 速さなどが視認可能な動作である)	表示サイズや動作速度を適切に変更する
判別性 (周囲の視覚的要素を区別して認識可能である)	表示位置を分離するか, 他の視覚的要素から際立たせる
予測可能性 (動作および動作位置が予測できる)	事前に明示するか, 既存の知識や経験をもとに容易に予測できるようにする
独立性 (他の命令に基づく動作と区別分離できる)	複数の動作を区別が可能なかたちに分離する

動作が物理的現象として見えるだけではなく学習者がそれを認識していなければ学習上の効果が期待できないと述べ, 視覚的に顕在化することの重要性を指摘している. そして, 視認性, 判別性, 予測可能性, 独立性の4つの状態から評価し有効性を示し, プログラミング教材作成の際の指針として提案している [11]. ここで岡本らが提示する, 4つの側面とその具体的解決方法について表 1 に示す.

西田らも岡本らの指標 [11] を例に出したうえで, プログラミング入門教育に図形描画の課題を取り入れたコースウェアとそうでない場合を比較し, 図形描画をとまなう例題を扱う方が, 繰返しのようにつまづきやすい学習内容でも, 理解度や楽しさを下げることなく学習できていることを示している [12].

ピクトグラムは元来, 視認性, 判別性を重視したグラフィックシンボル (図記号) である. また太田 [5], 木全 [6], 熊崎ら [7] の説に従うとすれば, 人型ピクトグラムを人間の動作に模倣して動かすプログラミング環境を構築したとすると, その出力は自身の動作と関連していることになり, 高い予測可能性が期待できる. さらに, 人型ピクトグラムの動作とプログラムの命令を細粒度で対応させるような言語設計が満たされれば, 高い独立性が実現されることとなる.

2.4 実装指針

2.1 節から 2.3 節をふまえ, 以下の3点を実装のうえでの指針とした.

実装指針 1: 人型ピクトグラムへの操作を主題とするプログラミング環境

実装指針 2: 同調的学習を喚起させる機構の導入

実装指針 3: 岡本らの具体的解決方法に基づく視覚的顕在化

3. プログラミング学習環境「ピクトグラミング」の構築

本章では, 2章で述べた実装指針に則り実装したプログラミング学習環境「ピクトグラミング」について解説する.

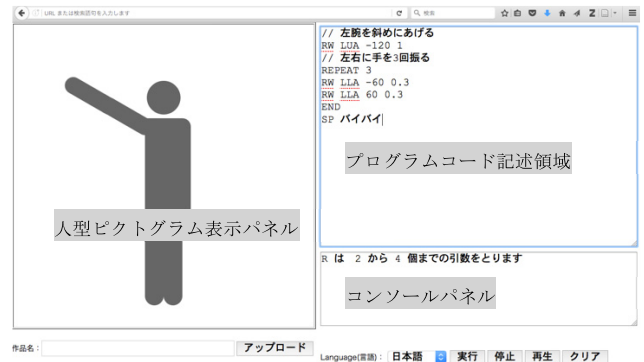


図 1 実装アプリケーションのスクリーンショット (PC 版)

Fig. 1 Screenshot of the application.

3.1 実装方式

HTML5, CSS, JavaScript を用いて実装した. 人型ピクトグラムの表示・操作部に限り Processing で実装し, Processing のソースコードを実行可能な JavaScript ライブラリである Processing.js を用いて実行している.

Web アプリケーションなので, ブラウザでアクセスするだけで利用できる. またブラウザのプラグインをいっさい使用しない純粋な Web アプリケーションである. 教育機関での授業利用も想定しており, PC へのネイティブアプリケーションやブラウザへのプラグインのインストールが教育機関によっては禁止されている場合があるため, このような実装方式とした.

3.2 画面説明

実装アプリケーションを PC のブラウザでアクセスした場合のスクリーンショットを図 1 に示す.

画面は3つの部分から構成される. 図 1 において左側は人型ピクトグラム表示パネル, 右側上はプログラムコード記述領域, 右側下はエラーメッセージを出力するコンソールパネルである. 人型ピクトグラム表示パネルには, 初期状態でパネル全体を占有するほどの大きさの人型ピクトグラムを配置している (実装指針 1 および, 実装指針 3 の視覚的顕在化の視認性および判別性).

人型ピクトグラム表示パネルには, ISO3864 で定義されている正面方向あるいは側面方向の人型ピクトグラムのいずれかが表示される. 正面方向のピクトグラムを図 2 に, 側面方向の人型ピクトグラムの形状を図 3 に示す. いずれも体と頭を組み合わせた部分が1つと, 上腕, 前腕, 上腿, 下腿が左右それぞれ1つの計9種の部品から構成される. いずれの方向の人型ピクトグラムも各部位のサイズ比は ISO3864 で定義されているものを忠実に再現している.

部位を指定してのプログラミングを想定する際, 正面のピクトグラムでは, たとえば人型ピクトグラムの「左前腕」「左上腕」が右側に表示されるので, 自身の右腕と対応づけてしまい, 混乱することが予想される. そこで, 鏡に映っ

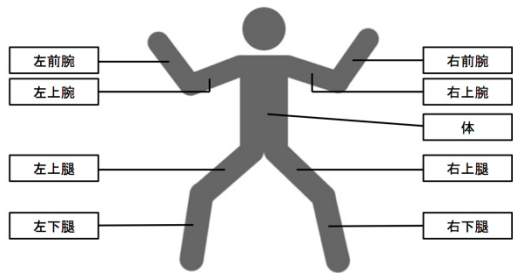


図 2 人型ピクトグラムを構成する部品 (正面)
Fig. 2 Front direction of the human pictogram.

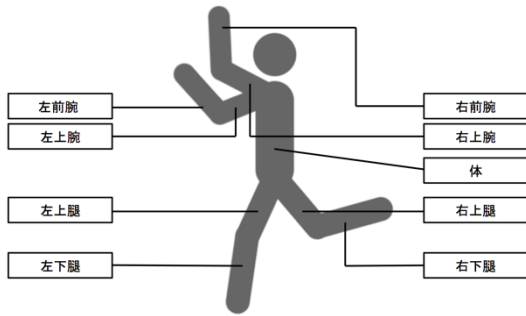


図 3 人型ピクトグラムを構成する部品 (側面)
Fig. 3 Side direction of the human pictogram.

ている自分という想定としている。つまり、人型ピクトグラム表示パネルに表示される人型ピクトグラムの各部位と位置の関係は図 2 のようになる。鏡あるいは仮想的な鏡の前で、人が映った自分を見ながら動きを学習することは、日常行為だけではなく、スポーツや作業手順の動き習得などの分野でも幅広く行われている。また、2.2 節で示した「同調的学習」の観点や 2.1 節で示したピクトグラムデザインにおける「人型ピクトグラムと自身との同一視」を重視する点からも親和性が高く、この方式を採用した。

一方、横向きの人型ピクトグラムの場合、どちらを向いているかの分別はなく、作成された姿勢から情報の受け手が判断することを想定している。左右上腕および左右上腿の体との節点がそれぞれ同一のため、実行中に、命令と動作を対応づけして認識しないと左右の判別は難しい。よって、実装指針 3 の視覚的顕在化の判別性を満足しているとはいえない。そのため正面ピクトグラムを用いたプログラム作成例、課題を授業の中で提示することを今回は念頭に置いた。世の中に普及しているピクトグラムには、側面のピクトグラムを用いるものも広く普及しており、側面のピクトグラムを用いないと表現できない姿勢も存在するので、機能としては実装した。側面のピクトグラムを使用する際の判別性を高める工夫は今後の課題としたい。

人型ピクトグラムの動作は、画面右上のプログラムコード記述領域に命令を入力し定義する。入力文字列は動作や状態を変化させるための「命令」コードと、引数列を空白で区切る以下の方式とする。

命令 引数 1 引数 2

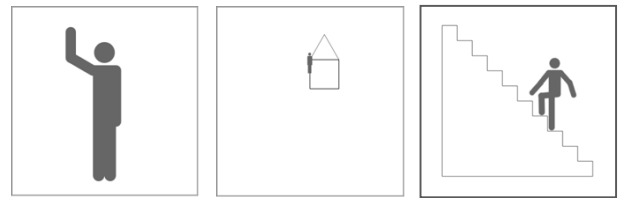


図 4 ピクトアニメーションとピクトグラフィックス
Fig. 4 Pictogram animation and pictogram graphics.

入力可能な命令とその仕様の詳細は、3.4 節で説明する。

3.3 ピクトアニメーションとピクトグラフィックス

3.2 節で概説したように、人型ピクトグラムを命令列によって変形するにあたり、動きの変化も表現できるアニメーションの機能も実装している。これを総称して「ピクトアニメーション」と呼ぶ。ピクトアニメーション命令は、実装指針 2 を十分満たすと考えるが、実装指針 2 に関してさらに同調的学習を喚起させるという LOGO のターゲットグラフィックスの機能 [8] も実装した。本アプリケーションでは、画面上に表示される人型ピクトグラムの体の移動の軌跡を図として表示することに相当し、「ピクトグラフィックス」と呼称する。図 4 に「ピクトアニメーション」(図 4 の左)と「ピクトグラフィックス」(図 4 の真ん中)の対比を示す。両方を実装することで、図 4 の右に示すような、人型ピクトグラムの姿勢・動作と描画図形に関する両方の知識と経験に基づいた作品が生成可能となる。

岡本らは、Norman の「体験的認知」「内省的認知」[13]、Laurel の「一人称的関与」「三人称的関与」[14]、の 2 種類の認知的関与を 2 例出し、認知主体が共感によって二重の視点を持ち二重の認知空間を横断することが、対象空間への没入を可能とし、同時にその共感によって他者と自己同一化を行うことで、心理的関与を生み出すとしている。またその例として鳥瞰的視点(三人称的視点)と一人称的視点の二重化を意識する表示形式を例示している [15]。パネル上に表示されたピクトグラムは、極度に抽象化された表現であるがために、写実度の高いイラストや写真と異なり、一人称的視点、三人称的視点いずれの観点からもとらえることができる。よって人型ピクトグラムと学習者間との心理的関与が発生することを意図している。

また、規格化されているピクトグラム、規格化されていないが世の中で広く活用されているピクトグラムには、人型ピクトグラム 1 体と線画で表現できる図形の組合せで構成されているものも多い。実用面や授業利用を考えるうえでも、この両者の機能を組み合わせる意義は大きい。

3.4 入力可能命令一覧

「ピクトアニメーション」のための命令(ピクトアニメーション命令と呼ぶ)と「ピクトグラフィックス」のための命令(ピクトグラフィックス命令と呼ぶ)に大別される。

表 2 ピクトアニメーション命令一覧

Table 2 List of pictogram animation commands.

命令の様式	処理
R arg1 arg2 [arg3 [arg4]]	arg4 秒後に arg1 で指定される体の部位を反時計回りに arg2 度だけ arg3 秒かけて支点を中心に等速回転する. arg4 が省略された時は, arg4 に 0 が, arg3, arg4 の両方が省略された時はいずれも 0 が入力されているものとして取り扱う.
RW arg1 arg2 arg3	arg1 で指定される体の部位を反時計回りに arg2 度だけ arg3 秒かけて支点を中心に等速回転する. 回転が終了するまで次の命令は実行されない.
M arg1 arg2 [arg3 [arg4]]	arg4 秒後に arg3 秒かけて x 軸正方向に arg1 ピクセル, y 軸正方向に arg2 ピクセルだけ全体を等速直線移動する. arg4 が省略された時は, arg4 に 0 が, arg3, arg4 の両方が省略された時はいずれも 0 が入力されているものとして取り扱う.
MW arg1 arg2 arg3	arg3 秒かけて x 軸正方向に arg1 ピクセル, y 軸正方向に arg2 ピクセルだけ全体を等速直線移動する. 直線移動が終了するまで次の命令は実行されない.
FR	人型ピクトグラムを正面向きにする. (初期状態)
SD	人型ピクトグラムを側面向きにする.
C	人型ピクトグラムの状態を初期状態にする.
SC arg1	人型ピクトグラムの拡大率を arg1 にする. (標準は 1)
SP arg1	文字列 arg1 を発話する.

ピクトアニメーション命令, ピクトグラフィックス命令のいずれも, 命令の名称や引数は既存の知識や経験をもとに容易に予測できるように配慮した (実装指針 3 の視覚的顕在化の予測可能性). さらに, 命令と人型ピクトグラムの動きが細粒度で関連づくようにした (実装指針 3 の視覚的顕在化の独立性). ピクトアニメーション命令一覧を表 2, に, ピクトグラフィックス命令一覧を表 3 に示す.

また両方に共通して使用される変数定義, 繰返し, 条件分岐などの命令が用意されている. 命令一覧を表 4 に示

表 3 ピクトグラフィックス命令一覧

Table 3 List of pictogram graphics commands.

命令の様式	処理
FD arg1	人型ピクトグラムを進行方向に距離 arg1 だけ進める.
BK arg1	人型ピクトグラムを進行方向と逆向きに距離 arg1 だけ進める.
RT arg1	人型ピクトグラムの進行方向を時計回り方向に角度 arg1 だけ回転する.
LT arg1	人型ピクトグラムの進行方向を反時計回り方向に角度 arg1 だけ回転する.
PEN arg1	arg1 が UP の場合, ペン ^{*1} を上げる. DOWN の場合, ペンを下げる. 初期状態はペンが上がっている状態.
CS	ペンによって描画された図形を消去する.

表 4 共通命令一覧

Table 4 List of common commands.

命令の様式	処理
SET arg1 exp2	変数 arg1 に exp2 を代入する.
IF exp1	もし式 exp1 が真ならば対応する END までの命令を実行する.
REPEAT arg1	対応する END までの命令を arg1 回繰返す.
END	条件文, または繰返しの終了.
W arg1	arg1 秒何もせず待つ. 待ちが終了するまで次の命令は実行されない.

す. 図 2 の人型ピクトグラム表示パネルに表示される人型ピクトグラムの部位をドラッグすると, 体の場合は体の中心点を, その他の部位の場合は関節点を中心に回転し, 「R arg1 arg2」の形式の命令がプログラムコード記述領域中のカーソル位置に自動的に追加される. 同様に右ドラッグすると人型ピクトグラムの体全体が平行移動し, 「M arg1 arg2」の形式の命令が追加される.

式は IF 命令の条件式だけでなく, 引数にも適用できる. JavaScript で定義されている算術演算子および比較演算子があるまま使用できる. 空白を命令や引数の区切り文字にしているため, IF [X >= 5] や R LUA [2 * Y] [Z + 1] のように式の両端を [] で囲うことで単一の引数と見なす仕様としている.

初等中等教育機関での授業利用も当然想定している. 兼宗らは, 教育におけるプログラミング言語を設計するうえで, 識別子の日本語利用を許容すること, 全角半角の両

*1 タートルグラフィックスでは, タートルに付いた「ペン」の上げ下げを制御しながら移動の履歴が描画されるという想定であるが, ピクトグラフィックスでもそれを踏襲している.

表 5 命令コードと表記の対応

Table 5 Relationships between operation code and notations.

英語略記	英語	日本語	にほんご
R	Rotate	回転	かいてん
RW	RotateWait	回転待ち	かいてんまち
M	Move	移動	いどう
MW	MoveWait	移動待ち	いどうまち
FR	Front	正面	しょうめん
SD	Side	側面	そくめん
C	Clear	クリア	くりあ
SC	Scale	倍率	ばいりつ
SP	Speak speak	話す	はなす
FD	Forward fd	前進	ぜんしん
BK	Backward bk	後進	こうしん
RT	RightTurn rt	右回り	みぎまわり
LT	LeftTurn lt	左回り	ひだりまわり
PEN	Pen pen	ペン	ぺん
UP	Up up	上げる	あげる
DOWN	Down down	下げる	さげる
CS	ClearScreen	クリアスクリーン	くりあすくりーん
SET	Set set	代入	だいにゆう
IF	If if	もし	もし
REPEAT	Repeat repeat	繰り返す 繰り返し	くりかえし
END	End end	終わり	おわり
W	Wait wait	待ち	まち

方が存在する文字はどちらで入力されても同様に動作するようにし、無用なつまずきを減少させることが重要であると述べている [16]. そのため本アプリケーションでも、命令コードは、英語の略記だけでなく、英語の単語表記、日本語表記、さらには低学齢の利用も想定し、日本語ひらがな表記をサポートしている。命令コードと表記の対応を表 5 に示す。また、変数名も日本語をサポートし、さらに数値、

表 6 体の部位と表記の対応

Table 6 Relationships between body parts and notations.

部位 ID	上位 ID	部位		
		英語	日本語	にほんご
0		Body	体幹	たいかん
		BODY	体	からだ
1	0	LUA	左上腕	ひだりじょうわん
		LeftUpperArm		
2	1	LLA	左前腕	ひだりぜんわん
		LeftLowerArm		
3	0	RUA	右上腕	みぎじょうわん
		RightUpperArm		
4	3	RLA	右前腕	みぎぜんわん
		RightLowerArm		
5	0	LUL	左大腿	ひだりだいたい
		LeftUpperLeg		
6	5	LLL	左下腿	ひだりかたい
		LeftLowerLeg		
7	0	RUL	右大腿	みぎだいたい
		RightUpperLeg		
8	7	RLL	右下腿	みぎかたい
		RightLowerLeg		

```
// 左腕を斜めにあげる
RW LUA -120 1
// 左右に手を 3 回振る
REPEAT 3
RW LLA -60 0.3
RW LLA 60 0.3
END
SP バイバイ
```

図 5 プログラム例

Fig. 5 Example of program.

算術・比較演算子やスペースなどが全角で表記されていても同様に動作する。R, RW 命令では、回転する体の部位を第一引数に指定する。体の部位についても命令コードと同様に英語の単語表記、日本語表記、日本語ひらがな表記をサポートしている。体の部位と表記の対応を表 6 に示す。表 6 において、上位 ID とは、その ID の部品が回転することで、連鎖して回転する関係であることを示している。たとえば、左上腕 (部位 ID 1) の回転は、連結されている左前腕 (部位 ID 2) も含め回転する。また、体 (部位 ID 0) の回転は、すべての部位が体を中心に同角度回転することとなる。

3.5 プログラム例と実行方法

命令列を上から順番に列挙することでプログラムを作成する。コメント (//) の追加も可能である。プログラム例を図 5 に示す。実行は画面上に配置されている実行ボタン押下のほか、プログラム入力中でも改行コードが入力された時点で、文法エラーが発生しなければ、実行される。本アプリケーションでは、個々の命令が 1 つの動きに対応するので、命令とその動作を逐次確認しながらプログラムを構築するのが望ましいと考えたためである。

4. スモールステップ学習

プログラミングの初学者が陥りがちな「つまずき」を削減するために、学習ステップを細かく設定したシラバスが設計できるのが望ましい。

たとえば、Uchida らはプログラミング授業において、CS アンプラグドの実践、コンピュータプログラムによる CS プラグドの実践、そのプログラムのデータのトレース、疑似言語によるコードの記述、Java を用いたコード記述、という Java プログラミングの段階的な修得メソッドを提案している [17]。本アプリケーションでは、表 7 に示すような Stage 1 から Stage 5 の段階的学習が可能となっている。

それぞれの Stage で新出する命令を表 8 に示す。音声を発する SP 命令は、趣旨のことなる拡張命令であることから Stage5 での学習とした。

Stage 1 は、3.5 節で示したプログラム例のようにテキストを記述するのではなく、3.4 節で示したように、マウス操作で人型ピクトグラムを作成しつつ、人型について慣れ親しんでもらう段階である。

Stage 2 は、マウス入力からテキスト入力への移行段階

表 7 本アプリケーション利用による段階的学習
Table 7 Staged learning using this application.

Stage	内容
1	マウス操作による人型ピクトグラムの制作
2	コード記述による人型ピクトグラム画像の制作
3	コード記述によるピクトアニメーションの制作
4	コード記述によるピクトグラフィックスの制作
5	ピクトグラフィックスとピクトアニメーションの融合

表 8 各 Stage と新出命令の対応

Table 8 Relationships between stages and new commands.

Stage	内容
1	なし
2	R, M, FR, SD, C, SET
3	RW, MW, W, REPEAT, END
4	CS, SC, FD, BK, RT, LT, PEN, IF
5	SP

である。特にテキスト型のプログラミング言語では、言語仕様に沿った入力に慣れるまでの段階でつまずきやすいという問題がある。本件のような単純な命令セットの場合であっても例外ではない。3.4 節で説明したドラッグ操作により自動生成される 2 引数の R, M 命令を参考に、自身でコードを入力することに徐々に慣れさせる。また変数を利用すると、複数の引数の値を同時に変更できる利便性を理解してもらうため、このステージで変数を学習する。

Stage 3 は、3 引数以上の R, M 命令や, RW, MW 命令を使用することで、静止画からアニメーション作成へ移行する。アニメーションの概念が入ることで、繰返し処理が視覚的に認知できるので、このステージで繰返し処理を学習する。

Stage 4 は、ピクトグラフィックス描画を学習する段階である。描画する際は線画が見えるようにするために、人型ピクトグラムの拡大率を小さくして、コードを記述することとなる。つまり Stage3 までの近距離視点と異なる、遠距離視点でのプログラム作成も想定することとなる。また複雑な図形の描画を可能とするために、この Stage で条件式を学ぶこととした。

Stage 5 は、本アプリケーションの機能をすべて自由に利用し、創造的活動を行うステージである。

5. 実践

本アプリケーションの有効性を調べるために評価実験を行った。被験者は、神戸大学附属中等教育学校に通う中学 3 年生 3 クラスの生徒計 101 名 (33 名 + 34 名 + 34 名) である。実験期間は、2017 年 6 月 19 日 (月) から 2017 年 7 月 6 日 (木) までの 3 週間、1 回の授業時間は 50 分で週 2 コマ別日に実施される。一般的な PC 実習室が配当されている。授業実践の概要を表 9 に示す。表 9 の各回の「内容」に含まれる項目は、授業中に実施した内容を上から時間順に記載している。

第 1 回の冒頭では、ピクトグラムの歴史や人型ピクトグラムの社会での利用例について説明し、ピクトグラムについての関心を喚起させた。第 2 回から第 5 回の実習 (30~35 分) ははじめの 10 分程度で、各回 A4 サイズ 2 から 6 ページからなる冊子資料を配付し、学習する命令の説明や簡単なサンプルを全員で学習し、残りは自由に作成してみる時間となっている。最終回の第 6 回は、第 1 回から第 5 回まですべてのテキストをまとめた冊子を配付したうえで、40 分かけて自由作品を作成する。配付テキストの例を付録 1 に示す。

第 1 回は Stage 1 の実習を行うため、生徒が使用するアプリケーションは「人型ピクトグラム表示パネル」のみが表示されプログラムを入力できないようになっている。また第 6 回は、自由作品作成ということで、「人型ピクトグラム表示パネル」上の人型ピクトグラムの部品をドラッグして変形できないようになっている。ただし、人型ピクトグ

表 9 実践の概要

Table 9 Overview of the practices.

回	内容	時間 (分)
1	ピクトグラムに関する講義	30
	Stage 1 に関する実習	15
	アンケート	5
2	Stage2 に関する実習	30
	理解度テスト	15
	アンケート	5
3	Stage3 に関する実習	30
	理解度テスト	15
	アンケート	5
4	Stage4 に関する実習	35
	理解度テスト	10
	アンケート	5
5	Stage4 に関する実習	35
	理解度テスト	10
	アンケート	5
6	Stage5 に関する実習 自由作品制作	40
	アンケート	10

ラムの部位をクリックし、部位の記述を「プログラムコード記述領域」に補完する機能は使用可能にしてある。これは、あくまで主眼はプログラミング学習であり、コード入力なしで作品が完成してしまうのを防ぐための対応である。

6. 評価

5章で述べた実践を、観察、アンケート、理解度テストの3点から分析した。

6.1 観察

Papert が重要視する同調的学習 [8] の中でも身体同調に注目し、人型ピクトグラムの動作を学習者自身が模倣するかについて観察した。全6回のうち、第2回目、第3回目の実習で特に模倣が目立った。LOGO でタートルの動きを確認する際は、実際に歩行して模倣することがあるが、そのためには一定の広さの空間を必要とする。本件のピクトグラフィックス (第4, 5回) も同様である。一方ピクトアニメーション (第2, 3回) では、歩行をとまわらないので狭い空間で再現できる。両腕の動きに限定するならば、着座したままでも再現可能である。これが模倣動作を誘発した理由であると考えられる。

6.2 アンケート評価

2章で述べた人型ピクトグラムへの操作を主題とするプログラミング環境が同調的学習を喚起させる効果、および

表 10 アンケート項目

Table 10 Questionnaire list.

質問	内容
1	今回の授業内容はあなたにとって楽しかった
2	自分の作りたいと思う作品が設定できた
3	作品を作る過程において、自分の身体の動きを意識した
4	自分の作りたいと思う作品ができた
5	自分の作った作品は、自分の生活に慣れ親しんでいることを表現した
6	今回の授業の感想を自由に書いてください (自由記述)

5章で示した今回の本アプリケーションを用いた授業実践の内容の妥当性を評価する目的で各回の最後に無記名式のアンケートを行った。質問項目は表 10 に示す6項目である。

質問1~5は、いずれも7段階の回答選択肢を用意した。回答選択肢の内容と数量化は、「7. とてもそうである」、「6. かなりそうである」、「5. どちらかというところである」、「4. どちらでもない」、「3. どちらかというところでない」、「2. あまりそうでない」、「1. まったくそうでない」とした。質問番号2, 4はPapertの述べる自我同調について、質問番号3は、身体同調、質問番号5は文化同調について調査することが目的である。質問6は自由記述形式である。

質問1の回答を表 11 に示す。第1回から第4回まではすべての回において、「7. とてもそうである」、「6. かなりそうである」、「5. どちらかというところである」の回答が90%以上を占め、第6回でも89.4%を占めた。第5回の平均値が他の回に比べて低い結果が出たため、検定を行った。検定には、リッカート尺度のデータであり、正規性も等分散性も認められなかったため、ノンパラメトリック検定であるSteel-Dwass法を用い、帰無仮説「各授業間に差はない」を立て、各回を群として多重比較を行った*2。その結果p値が0.05未満となったのは、第5回と第1回とで $p = 0.01392$ 、第5回と第3回とで $p = 0.01751$ 、第5回と第4回とで $p = 0.03679$ 、第5回と第6回とで $p = 8.768e-04$ となった。つまり第5回と第1, 3, 4回とは有意水準5%で、第5回と第6回とは有意水準1%で仮説を棄却できた。

質問2の回答を表 12 に示す。第5回を除くすべての回において「7. とてもそうである」、「6. かなりそうである」、「5. どちらかというところである」の回答が75%以上を占めた。質問1と同じく、第5回の平均値が他の回に比べて低い結

*2 本節で行った検定はすべて統計分析ソフトウェア R (version 3.3.2) を用い、群馬大学の青木氏が公開している Steel-Dwass 検定用のソース <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/src/Steel-Dwass.R> を読み込んで使用した。

表 11 質問 1: “今回の授業内容はあなたにとって楽しかった”^{*3}

Table 11 Question 1: “You found that the contents of this lesson were fun”.

	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
第 1 回	0	0	2	3	23	35	35	6.000	0.952
第 2 回	1	3	0	5	23	33	32	5.814	1.228
第 3 回	1	1	0	5	16	28	33	5.976	1.151
第 4 回	1	0	0	6	21	36	32	5.938	1.034
第 5 回	1	3	3	13	29	18	24	5.374	1.372
第 6 回	2	2	1	5	15	18	51	6.053	1.379

表 12 質問 2: “自分の作りたいと思う作品が設定できた”

Table 12 Question 2: “You can set the theme that you want to make”.

	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
第 1 回	1	4	2	8	26	26	31	5.612	1.367
第 2 回	2	1	4	7	25	27	31	5.649	1.347
第 3 回	3	4	4	6	17	26	24	5.429	1.600
第 4 回	2	1	4	9	20	29	31	5.656	1.368
第 5 回	11	2	9	20	20	13	16	4.527	1.846
第 6 回	5	4	3	8	18	23	33	5.457	1.708

表 13 質問 3: “作品を作る過程において、自分の身体の動きを意識した”

Table 13 Question 3: “You are aware of the movements of your body during the creative process”.

	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
第 1 回	6	6	6	13	28	19	20	4.918	1.715
第 2 回	9	11	11	21	16	16	13	4.278	1.841
第 3 回	8	7	8	9	19	15	18	4.679	1.934
第 4 回	14	11	8	18	16	13	16	4.188	2.017
第 5 回	21	10	7	24	15	3	11	3.604	1.966
第 6 回	9	4	3	17	16	13	32	5.064	1.939

果が出たため、検定を行った。検定には同じく Steel-Dwass 法を用い、帰無仮説「各授業間に差はない」を立て、各回を群として多重比較を行った。その結果 p 値が 0.05 未満となったのは、第 5 回と第 1 回とで $p = 2.181e-04$ 、第 5 回と第 2 回とで $p = 1.213e-04$ 、第 5 回と第 3 回とで $p = 0.005474$ 、第 5 回と第 4 回とで $p = 1.241e-04$ 、第 5 回と第 6 回とで $p = 0.001984$ となった。つまり第 5 回と他のすべての回との間で有意水準 1% で仮説を棄却できた。

質問 3 の回答を表 13 に示す。第 1 回と第 3 回の平均値

^{*3} 無記名式のアンケートであり、また提出を強制していない。理解度テストののちのアンケートのため、教員のアンケート回答への一斉誘導があったものの、テスト提出が完了しない一部の生徒がテストを優先した可能性もある。以上の理由により各回の回答数は、必ずしも授業出席者数と一致しない。他の質問に関しても同様である。

表 14 質問 4: “自分の作りたいと思う作品ができた”

Table 14 Question 4: “You can make whatever you want to make”.

	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
第 1 回	2	5	1	13	25	25	27	5.418	1.471
第 2 回	2	0	1	13	31	24	26	5.546	1.242
第 3 回	4	1	6	8	19	22	24	5.369	1.597
第 4 回	2	3	3	12	21	29	26	5.479	1.429
第 5 回	10	2	8	16	22	11	22	4.747	1.883
第 6 回	7	6	2	9	15	24	31	5.287	1.864

表 15 質問 5: “自分の作った作品は、自分の生活に慣れ親しんでいることを表現した”

Table 15 Question 5: “The theme that you set this time is what you are familiar with”.

	1	2	3	4	5	6	7	平均	標準偏差
第 1 回	7	11	12	22	16	18	12	4.337	1.770
第 2 回	5	16	7	29	30	4	6	4.021	1.500
第 3 回	12	6	7	16	20	16	7	4.214	1.844
第 4 回	9	12	10	24	21	9	11	4.115	1.758
第 5 回	17	14	13	20	10	7	10	3.582	1.927
第 6 回	9	5	14	15	19	10	22	4.574	1.915

が高いが、第 1 回は新規性効果の影響、第 3 回は人型ピクトグラムをアニメーションで表現する回で、第 6 回は自由制作のため、身体の動きを意識したと考えられる。一方、ピクトグラフィックスを取り扱った第 4 回、第 5 回では、身体の動作ではなく移動ととらえられるため、身体の動きを意識する生徒の割合が減少していると考えられる。そこで、検定を行った。検定には同じく Steel-Dwass 法を用い、帰無仮説「各授業間に差はない」を立て、各回を群として多重比較を行った。その結果 p 値が 0.05 未満となったのは、第 2 回と第 6 回で $p = 0.02379$ 、第 4 回と第 6 回で $p = 0.02589$ 、第 5 回と第 1 回で $p = 2.778e-05$ 、第 5 回と第 3 回で $p = 0.003543$ 、第 5 回と第 6 回で $p = 1.644e-05$ となった。つまり、第 2 回と第 6 回、第 4 回と第 6 回とは有意水準 5% で、第 5 回と第 1, 3, 6 回とは有意水準 1% で仮説を棄却できた。

質問 4 の回答を表 14 に示す。質問 2 では作りたい作品のテーマが設定できたかを問うているが、この質問 4 ではその作品が実際に完成できたかを問うている。こちらも第 5 回の平均値が他の回に比べて低い結果が出たため、検定を行った。検定には同じく Steel-Dwass 法を用い、帰無仮説「各授業間に差はない」を立て、各回を群として多重比較を行った。その結果 p 値が 0.05 未満となったのは、第 5 回と第 2 回と間で $p = 0.04938$ のみであった。つまり第 5 回と第 2 回の間は、有意水準 5% で仮説を棄却できた。

質問 5 の回答を表 15 に示す。全体にわたり評価がばら

表 16 “今回の授業の感想を自由に書いてください” 抜粋

Table 16 Question 6: “Please freely write your comments about this class”.

回 目	内容
1	回答 1. 自分の体の動きを参考にしながら作るのは、とても楽しかった。 回答 2. 街中で見かけるようなピクトグラムを自分で作ることができて面白かった。
2	回答 1. 自分でちょうど 60 度などの微妙な傾きを操作できるので前回よりかなりやりやすかったです。 回答 2. 自分で操作するよりも、命令を出して動かすほうが何倍も楽に感じた。
3	回答 1. ピクさんに動きをつけて、ピクさんがより人間らしくなったなと思いました。 回答 2. アイデアによってはすごく面白い動きを作れたり、シュールだったりして、ほかの人の作品を見るのも楽しかったです。
4	回答 1. 次は、ピクさんを移動させながら歩いているような体の動きを付けてみたいと思いました。このことは、私たちの生活の中にも生きてきているのではないかと思った。なので、今日習ったことを今後の生活で活かしていければいいと思う。 回答 2. 前の人のがすごすぎてあせる。
5	回答 1. 数値を変えることによってさまざまな形を作ることができたのでよかった。 回答 2. IF 命令が難しかった。
6	回答 1. ピクさんとの別れがおいしいです。 回答 2. お前のことは忘れないぞ 回答 3. ピクさんの授業は、とても楽しかった。別れるのが寂しいが、また家でもやってみたい。ありがとうございました。

けている。これは、社会や生活に密着したテーマ以外に、ユーモア系やキャラクタ系や、アート系など、実に多様な作品が存在しているためと考えられる。

表 16 に質問 6 “今回の授業の感想を自由に書いてください (自由記述)” の記述の抜粋を示す。自由記述から、以下のような点が明らかになった。

- a) 第 1 回の回答 1, 2, 第 4 回目の回答 1 に例示するように、身体同調, 自我同調, 社会同調に関する記述が多く見られた。
- b) 第 2 回の回答 1, 2 に例示するように、マウス操作により命令をキーボードで入力することによる操作の方を好む生徒が一定数見られた。また、第 5 回の回答 1 のように値を直接入力してプログラミングする良さに言及する記述も見られた。

表 17 理解度テストの課題の内容

Table 17 Contents of the comprehension test.

回	内容
2	課題 1. 命令列を使って、画像で提示された人型ピクトグラムの姿勢をコード記述により再現する課題 課題 2. 変数を定義し、命令の引数に使用する課題
3	課題 3. 提示されたピクトアニメーションをコード記述により再現できるかテストする課題 課題 4. 繰り返し処理を記述できるかをテストする課題
4	課題 5. 指定されたピクトグラフィックスを描画するコードが記述できるかをテストする課題
5	課題 6. 条件分岐命令を記述できるかをテストする課題

c) 第 3 回の回答 1, 2 に例示するように、Stage 3 で新たに学習する「動き」を取り入れることにより、実際の人間と対応づけた発言をする生徒が複数見られた。

d) 第 3 回の回答 2 や、第 4 回の回答 2 にあるように、視認性の良さから周囲の生徒の実行の様子が目に入ることに起因する社会的比較に関するアンケート記述も多く見られた。

e) 第 5 回の回答 2 にあるように、IF 命令の条件式の記述が難しかったという回答が複数見られた。

f) 第 6 回目は、全体的に、「楽しかった」「面白かった」という質問 1 を肯定する記述が大半を占めた。また最終回ということもあり、c) と同じく、第 6 回目の回答 1~3 に見られるように、人型ピクトグラムを擬人化した感想が多く見られた。さらに回答 3 に見られるように、授業時間外にも利用を希望する生徒が複数存在し、創作意欲を喚起しているのがうかがい知れる。

6.3 理解度テスト結果

第 2 回, 第 3 回, 第 4 回, 第 5 回の授業では、最後に Stage2, Stage3, Stage4 の内容の学習到達度を測る目的で課題を設定した。各 Stage で 2 題のテスト課題を提示し、そのプログラムが作成できるかテストした。理解度テストの課題の内容は表 17 のとおりである。実際にプリント配付された理解度テストの課題の内容を付録 2 に示す。実習中は隣席の生徒同士での学び合うことを推奨したが、テスト中は隣席の生徒との会話は控えることとし、独力で課題に取り組むよう指示した。授業中は、当該授業までで学習した命令セットや作例が掲載された実習用プリント (付録 1) が配付されており、理解度テスト実施中も、その実習用プリントの閲覧は許容した。実習用プリントに掲載されている作例は初歩的なもので、理解度テストの課題ではより応用的な内容を問うている。

本アプリケーションには完成した作品をアップロードする機能があり、理解度テストの内容をアップロードするこ

表 18 理解度テストの結果
Table 18 Results of the comprehension test.

回	内容	正答者数 /受講者数	比率
2	課題 1. 静止画ピクトグラム	98/98	1.000
2	課題 2. 変数	92/98	0.939
3	課題 3. ピクトアニメーション	95/99	0.960
3	課題 4. 繰返し処理	86/99	0.869
4	課題 5. ピクトグラフィックス	93/100	0.930
5	課題 6. 条件分岐命令	65/99	0.657

とで課題提出とした。提出された内容を分析し、正答した生徒の比率を算出した。結果を表 18 に示す。

6.4 考察

6.1 節から 6.3 節の結果に基づいて、考察する。

検定からは、人型ピクトグラムへの操作を主題とするプログラミング環境が同調的学習を喚起させる仮説について、6.2 節の質問 3 に関する検定結果からは、自由に制作できる授業内容である第 6 回と比べて、ピクトグラムアニメーションをともなわない第 2, 4, 5 回で有意に結果が悪く、一方第 3 回のピクトグラムアニメーションの回とは、有意差はなかった。第 1 回とも有意差はなかったが、これは新規性効果の影響によるものと考えられる。6.1 節の観察の結果、質問 6 中の第 3 回に関する自由記述もふまえると、ピクトグラムの体を動かすピクトグラムアニメーションが身体的同調を喚起する効果があることが認められた。

次に、授業実践の内容の妥当性について論じる。条件分岐を主題にした第 5 回授業では、質問 1~4 までのすべての質問において、少なくとも 1 つ以上の授業に比べ有意に結果が悪かった。第 4 回授業でも、第 5 回授業と同様にピクトグラフィックスを取り扱っているが、第 4 回授業では、他の回の授業との有意な差はほとんど見られないことから、条件分岐の単元内容が原因と考えられる。これは、条件分岐命令は 6.2 節の e) で言及したように、条件式は JavaScript の記法をそのまま踏襲したのが主要因と思われる。また、条件の記法自体がやや難しかったということに加え、条件式の設定も難しかったことがあげられる。描画するグラフィック自体がやや複雑であったので、第 5 回授業では穴埋め形式で出題したが、完了できない生徒が約 35% 存在した。課題が完了できなかったことも、課題後に行ったアンケート結果の評価を下げたと考えられる。さらに、第 5 回授業が第 4 回授業と同様にステージ 4 の授業であったため、表示上や内容上の目新しさがなく、新規性効果のなさも影響したと考えられる。第 5 回授業は、質問 1 では第 2 回授業をのぞくすべての授業、質問 2 では他のすべての授業に比べ有意に結果が悪い。楽しかったや作り

たいものを設定できたかといった、基本的事項に関して影響を与えているため、授業設計や機能の見直しが必要と考える。現在、人型ピクトグラムの部位の角度、位置などの状態変数をプログラムから取得できる機能は実装していない。人型ピクトグラムの状態変数や、乱数を発生させるコマンドを定義し、それらを条件式に含む条件分岐命令を用いた事例の方が、同調的学習の視点から考えれば、学習者にとっては理解しやすく、また条件分岐を含む作りたい作品を設定しやすくなることにつながる。それゆえ、今回の質問 2 で発生した有意に結果が悪かった問題を解決できる可能性がある。今後、ピクトアニメーションの項で条件分岐を学習することを検討する。

課題に関しては、課題 6. 条件分岐命令以外は、おおむね良好な結果を得た。課題作成も実習中の自由作品制作の 1 つと生徒にとらえられてしまったためか、全体的に、6.2 節の質問 4 “自分の作りたいと思う作品ができた”とも相関が見られる結果となっている。課題 2, 4 で完了できなかった生徒がわずかに見られるが、2 問を 15 分で回答する課題の 2 問目ということもあり、時間不足でそもそも 2 問目に十分時間をかけられなかった生徒も見受けられた。また課題 4 に関しては、繰返し処理の記述自体ではなく、繰返すアニメーション自体の記述につまずいた生徒が何人かいるため、繰返し処理自体の記述の仕方という点では、完了数はより多い。

7. 他のプログラミング言語との比較と、初等中等教育における活用の展望

本章では、初等中等教育において用いられている主なプログラミング言語との比較を行うことで、Pictogramming の長所を示す。今回は Scratch とドリトルを比較対象とする。

Scratch^{*4}は、MIT メディアラボが開発するビジュアルプログラミング言語で、処理に相当するブロックをつなぎ合わせてプログラムを作成するのが特徴で、強力なマルチメディア機能により多彩なコンテンツが簡単に作成できる [18]。そもそも単元学習を行わなくても直感的にプログラミングが行えるのが Scratch の設計指針であり、ユーザも小中学生中心に幅広い年代が利用している。またインターネット上で共有し、作品に関するコミュニケーションサイトも用意されている。

ドリトル^{*5} [16] は、兼宗らによって開発されたプロトタイプ型のオブジェクト指向プログラミング言語で、タートルグラフィックスにより記述した図形も新たなオブジェクトとして活用できるのが特徴である。また兼宗らはドリトルのほかに、教育用にカスタマイズした JavaScript, C 言語の簡易版を Web ブラウザから利用できる Bit Arrow^{*6}も

*4 <https://scratch.mit.edu/>

*5 <http://dolittle.eplang.jp/>

*6 <http://bitarrow.eplang.jp/>

表 19 Scratch, ドリトルとの比較
Table 19 Comparison with Scratch and Dolittle.

	Scratch	ドリトル	Pictogramming
命令形式	ブロック型	テキスト型	テキスト型
機能	多い	多い	少ない
日本語命令対応	○	○	○
オブジェクト指向	○	○	×
初期表示キャラクタ	ネコ	カメ	人型ピクトグラム
同調的学習	○	○	◎

公開している。

Scratch, ドリトル, Pictogramming の 3 種類を「命令形式」, 「機能」, 「日本語命令対応」, 「オブジェクト指向」, 「初期表示キャラクタ」, 「同調的学習」の観点から比較した表を表 19 に示す。これらの観点から比較する。

「命令形式」は, Scratch では, ブロック型の命令を使うことで, 初学者のつまずきの原因となるシンタックスエラーを防いでいる。一方 Pictogramming はドリトルと同じテキスト型を現状採用している。テキスト型の問題点として, 機能が多くなり命令セットが複雑化すると, 学習にコストがかかるためつまずきの要因になるという問題がある。

Pictogramming は, 現在ブロックプログラミングの機能は実装していないが, ビジュアルプログラミング作成のためのライブラリ Blockly^{*7}がオープンソース公開されており, 今後の検討課題である。ドリトルも Pictogramming も, 「日本語での命令入力」をサポートすることで, 少しでも学習コストを下げ, つまずきを抑制しようという方向性では一致している。Pictogramming は, ピクトグラムを作るという目的指向で設計されているため, 「機能」が限定されている。それが, テキスト型言語で懸念される学習コストをあまりかけなくてもピクトグラムを作るという目的が達成できるという利点にもなっている。

Pictogramming では, 今後スマートフォン対応を考えている。中学生以上ではほぼすべての生徒, 学生がスマートフォンを所持しており, スマートフォン対応であれば授業時間外でも時間制約なく利用できる。スマートフォンの場合, プログラム入力をブロックベースとすると, ブロック候補の一覧を表示する領域を用意しなければならず, インタフェースが煩雑になりがちである。単純な図形である人型ピクトグラム一体を題材とし, さらに少ないテキスト入力文字数による命令記述をベースとしているので, スマートフォンのように表示領域が狭いデバイスであっても, 岡本らの指摘する視認性や判別性を損なうことなく, 学習できる可能性を秘めている。

Scratch, ドリトルはいずれもプロトタイプ型オブジェ

クト指向言語に分類され, 画面上にインスタンス化されたオブジェクトを多数配置し, オブジェクト間のメッセージパッシングにより相互作用させる。一方, Pictogramming では, 人型ピクトグラム一体と学習者を同一視させることに意味を見い出しており, 複数のオブジェクト(人型ピクトグラム)の表示をサポートすることは現段階では優先度は低い。ドリトルのように, 新しく描画した図形をオブジェクトとして扱う場合でも, 命令セットや記法の大幅な見直しや拡張が必要となる。現時点では, 命令の記法が単純であることを重視しており, そのため現時点では, オブジェクト指向はサポートしていない。

次に「初期キャラクタ」を比較する。Scratch ではネコ, ドリトルではカメが初期状態で表示され, 学習の初期段階では, その初期キャラクタを操作することになるため作風に影響が生じる。Pictogramming では, 初期キャラクタが人型ピクトグラムであるので, 同様に作風は生じるが, 現実世界に存在する人間の身体をベースにしている。Scratch, ドリトル, Pictogramming と「同調的学習」を設計指針とするタートルグラフィックスの機能をサポートしているが, Pictogramming では, 人型ピクトグラムを主題とするピクトアニメーションをさらにサポートすることで, 人の身体, 思考, 社会性などの「同調的学習」をより誘発する幅広いテーマが簡単に設定できる。さらに直感的に理解できるテーマのため, プログラミング自体に集中できる点が優れている点と考えている。

高等学校では 2022 年度より学年進行で適用される次期学習指導要領において, 情報の科学的理解を基軸とする「情報 I」が必修修科目となる。その四本柱には, プログラミングによりコンピュータを活用する力, モデル化, シミュレーションによるモデル評価などから構成される「コンピュータとプログラミング」という項目のほかに, 情報デザインに配慮した的確なコミュニケーションの力を育む「コミュニケーションと情報デザイン」が設定される予定である。科目単元として学習する際, 限りある授業時間数の中でいかに学ばせるかは主題の 1 つであり, 人型ピクトグラムを主眼に置くことで, 両方の項目を複合的かつ効率的に学ぶシラバスが設計できるのも本アプリケーションの長所の 1 つにあげられる。また中学校でも, 次期学習指導要領^{*8}の「技術・家庭科」では, 計測制御のプログラミングに加え, インタラクティブなコンテンツを生成するプログラミングも加えられ, プログラミングの比重が高まる。人型ピクトグラムは, 四肢二関節のロボットと見なすことができ, ロボット制御のシミュレータソフトウェアとしての活用が想定できる。またピクトグラムというインタラクティブコンテンツ生成の視点のプログラミング環境としても当然活用できる。

^{*7} <https://developers.google.com/blockly/>

^{*8} http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387016.htm

小学校においても、公開された次期学習指導要領^{*9}の中で、一例として図形理解においてプログラミングを用いる指導案が提示されている。これは今回のピクトグラフィックで実現できる内容である。

久野らは初等中等段階を通じた情報教育の必要性を論じ、カリキュラム体系を提案している [19] が、本アプリケーションは、例示した内容以外にも小学校から高等学校に至るまで様々な切り口での活用が見込まれる。その理由としてやはり人型ピクトグラムという抽象度の高い人間を模した表現を主題にあるゆえに、人の日常的活動や社会的活動にリンクしたテーマが教科や教育段階の枠を超えて設定しやすいことが基底にあると考える。

8. おわりに

本論文では、人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境「Pictogramming (ピクトグラミング)」を構築し、実験によりその有効性を示した。

今後は、今回の実験とは異なる学齢を対象にした実験や、7章でも言及したように、スマートフォン、タブレットなど異なるデバイスでの利用実験も進める予定である。また、操作・入力ログに基づいた定量的、定性的評価や、複数の学習者が、提出した作品群をリミックスしながら協調的にプログラミングができる機能を追加した場合の学習効果についてもアプリケーションの機能追加と並行して検証する予定である。そのうち本アプリケーションは一般公開する予定である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 26330140 の助成を受けたものです。また授業の実践および評価の機会を提供いただいた神戸大学附属中等教育学校米田貴先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] 大野森太郎, 上西綾香, 原田利宣: 色彩表現を用いたピクトグラムにおける視覚言語の抽出とその検証, 日本感性工学会論文誌, Vol.14, No.3, pp.391-400 (2015).
- [2] Mori, Y., Takasaki, T. and Ishida, T.: Patterns in pictogram communication, *Proc. 2009 International Workshop on Intercultural Collaboration (IWIC '09)*, pp.277-280, ACM (2009).
- [3] 上西くるみ, 青木輝勝: ピクトグラムマッチングのための輪郭情報を取り入れた局所形状記述子, 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, Vol.2017-CVIM-205, No.5 (2017).
- [4] Enass, M.M.H.: The semiotics of pictogram in the Signage Systems, *International Design Journal*, Vol.5, No.2, pp.301-315 (2015).
- [5] 太田幸夫: 国際安全標識ピクトグラムデザインの研究, 入手先 (<http://www.tamabi.ac.jp/soumu/gai/hojo/seika/2003/kyoudou-ota1.pdf>) (参照 2017-11-22).
- [6] 木全 賢: ひと目でわかるデザイン, デザインがわかる, ISBN 978-4-8465-2726-6, pp.102-107 (2008).
- [7] 熊崎周作, 竹内勇剛: 他者性の知覚と共感を誘発する自己投影像, 日本認知科学会第 31 回大会論文集, P3-10, pp.724-730 (2014).
- [8] Mindstorms, P.S.: *Children, computers, and powerful ideas*, Basic Books Inc. (1980).
- [9] 長瀧寛之: コンピュータゲームを通して情報科学を概観する一般情報教育の授業手法の提案と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.54, No.1, pp.2-13 (2013).
- [10] 坂本一憲, 本田 澄, 音森一輝, 山崎頌平, 服部真知子, 松浦由美, 高野孝一, 鷺崎弘宜, 深澤良彰: まねっこダンス: 真似て覚えるプログラミングツール, コンピュータソフトウェア, Vol.32, No.4, pp.74-92 (2015).
- [11] 岡本雅子, 村上雅之, 吉川直人, 喜多 一: 「視覚的顕在化」に着目したプログラミング学習教材の開発と評価, 日本教育工学会論文誌, Vol.37, No.1, pp.35-45 (2013).
- [12] 西田知博, 原田 章, 中西通雄, 松浦敏雄: プログラミング入門教育における図形描画先行型コースウェアが学習に与える影響, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ, Vol.3, No.1, pp.26-35 (2017).
- [13] Norman, D.A.: *Things that make us smart: Defending human attributes in the age of the machine*, Basic Books (1993).
- [14] Laurel, B.: Interface as mimesis, *User centered system design: New perspectives on human-computer interaction*, pp.67-85 (1986).
- [15] Okamoto, M., Nakano, I.Y. and Nishida, T.: Toward enhancing User Involvement via Empathy Channel in human-computer interface design, *Intelligent Media Technology for Communicative Intelligence*, Springer Berlin Heidelberg, pp.111-121 (2005).
- [16] 兼宗 進, 御手洗理英, 中谷多哉子, 福井真吾, 久野 靖: 学校教育用オブジェクト指向言語「ドリトル」の設計と実装, 情報処理学会論文誌プログラミング, Vol.42, No.12, pp.78-90 (2001).
- [17] Uchida, Y. et al.: A proposal for teaching programming through the Five-Step Method, *Journal of Robotics, Networking and Artificial Life*, Vol.2, No.3, pp.153-156 (2015).
- [18] Mitchel, R., John, M., Andrés, M., Natalie, R., Evelyn, E., Karen, B., Amon, M., Eric, R., Jay, S., Brian, S. and Yasmin, K.: Scratch: Programming for all, *Comm. ACM*, Vol.52, No.11, pp.60-67 (2009).
- [19] 久野 靖, 和田 勉, 中山泰一: 初等中等段階を通じた情報教育の必要性とカリキュラム体系の提案, 情報処理学会論文誌教育とコンピュータ, Vol.1, No.3, pp.48-61 (2015).

*9 http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387014.htm

付録1 テキスト (Stage2の最初の2ページ抜粋)

Stage2
ピクさんに命令してみよう

学習日:

ここでは ピクさんにポーズを命令してみましょう。

▶ 専用サイトにアクセスしよう (復習)
ピクさんを作る専用サイトにアクセスします。先生の指示に従ってください。
図2.1のような画面が出てきます。画面の一番下に、
[No Code Mode (コード記述不可モード)]
とあります。このチェックをクリックして外しましょう。前回よりも表示が増え
図2.2
ようになります。今回はこの新しいエリアを使ってピクさんを動かします。
表示エリアそれぞれに名前をつけます。図2.3に示しました。

▶ Part1 ピクさんに命令しよう
■ プログラム入力エリアに文字を表示させる。
まず、ピクさんの左腕をクリックしましょう。
すると、プログラム入力テキストエリアに
下に表示文字列が表示されます。

```
R LUA 0
```

この文字列の意味を見ていきます。
始めのRは回転 (Rotate) の意味で、つぎのLUAというのは、体の部位を示しており、
この場合、左上腕 (LUA: Left Upper Arm) の意味です。3つ目の0は0度反時計回りに
回転するという意味です。

R Rotate
LUA Left Upper Arm
0

図2.1 画面表示の例
図2.2 画面表示の例

4 ピクさんを命令してみよう

■ プログラムでピクさんを動かす
第1回では画面上のピクさんをドラッグして様々な姿勢のピクさんを作成しました。
その時のように、いずれかの部位をドラッグして変化を観察しましょう。例えばある操
作をした結果、図2.3の「プログラム入力テキストエリア」に下のように表示されました。

```
R RLL 37  
R BODY -52
```

これは、1行目で、右下肢 (RLL: Right Lower Leg) を反時計回りに37度回転させ
ます。それに続けて2行目で、体全体 (BODY) を反時計回りに-52度、つまり時計回りに
52度回転させています。
このように腕を回すや体を回すように指示することを**命令**といい、命令の集合を
プログラムと呼ぶことにします。つまりあなたが画面上のピクさんに対して命令する訳
です。
命令には**モード**があります。体の部位を回転する場合の命令の**モード**を表に示します。

図2.3 命令のモード

命令のモード	処理
R [数値] [部位]	[数値]で指定される体の部位を反時計回りに [数値]度だけ回転する。
R [数値] [部位]	[数値]に示す部位を [数値]度だけ回転する。

数値 (反時計回りに示す負値)
初めのRが回転を意味する命令の種類です。今後R以外の命令が出てきます。次の
[数値] というのは一つの引数です。引数とは、命令の際に与える数値のことを言
います。[部位]には体の部位を示す文字列を指定します。体の部位を示す文字列は
図2.4
体の部位を示す文字列に示します。

図2.4 体の部位を示す文字列

部位	説明
BODY	体
LUA	左上腕
LRA	左前腕
RUA	右上腕
RLA	右前腕
LUL	左大腿
LLL	左下肢
RUL	右大腿
RLL	右下肢

図2.4 ピクさんを構成する部品

ピクさんを命令してみよう 5

付録2 演習問題

1 第2回目授業中の理解度テスト

Stage2
ピクさんに命令してみよう

学習日:

演習問題

(1) 次のような姿勢のピクさんを作成してください。

(2) 変数 ANGLE を定義し、変数 ANGLE の値を変えると以下のような姿勢に変化するピクさんを作成してください。
アップロードするプログラムは ANGLE の値を 90 としてください。

ANGLE が 30 度	ANGLE が 90 度	ANGLE が 150 度

2 第3回目授業中の理解度テスト

Stage3
ピクさんアニメーション

学習日:

演習問題

(1) 次のようなピクトグラムアニメーションを作成してください

[0秒目から1秒かけて両腕を上げる。
1秒目から1秒かけて左腕を下ろす。
2秒目から1秒かけて右腕を下ろす。]

(2) 次のようなピクトグラムアニメーションを作成してください。
ただし REPEAT 命令を用いること。

[1秒かけて左手を曲げて、続けて1秒かけて再び左手を伸ばす]
ということを10回繰り返す。

3 第4回目授業中の理解度テスト

Stage4
ピクさん地上絵

学習日:

演習問題

(1) 次のようなピクトグラフィックスを作成してください

4 第5回目授業中の理解度テスト

Stage4
ピクさん地上絵

学習日:

演習問題

(2) 次のようなピクトグラフィックスを下のプログラムを参照して作成してください。
ただし、プログラムの [] の部分は隠してある

```
SET X 1  
FOR DOOR  
REPEAT 120  
FD X  
RT 60  
IF [ ]  
END  
SET X [X + 1]  
END
```



伊藤 一成 (正会員)

1974年生。2005年慶應義塾大学大学院理工学研究科後期博士課程修了。博士(工学)。2005年青山学院大学理工学部情報テクノロジー学科助手, 2007年助教。2008年同大学社会情報学部助教, 2010年准教授, 現在に至る。メ

ディア情報処理, メディア情報学に関する研究に従事。本学会会誌教育WG(EWG)編集委員, 本学会セミナー推進委員会委員。