

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}

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。特に人自体を表現したピクトグラムは数多く存在し、本論文では人型ピクトグラムと称する。Papert は、自分自身の体を使ってタートルになったふりをする事で、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。これは、人型ピクトグラムに対する本人との同一視効果や感情移入の効果に相当するものと考えられる。また Papert は、タートルは文化活動に結びつく一種の文化同調も見られるとしている。ピクトグラムは、観光、異文化コミュニケーション、語学、認知、心理、防災、福祉、医療、情報デザインなど様々な領域で人々の生活や文化に広く根付いており、人型ピクトグラムを題材とすることで文化同調の効果も期待できる。そこで、人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境「ピクトグラミング」を実際に構築し、評価した。

Pictogramming

- Programming Learning Environment using Human Pictogram -

KAZUNARI ITO^{†1}

1. はじめに

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。

ピクトグラムは案内、安全、施設等々、様々な用途で標準化されている。図1に例示する。



図1 人型ピクトグラムを構成素とするピクトグラムの例

図1のピクトグラムは、いずれもISO7010安全図記号で指定されている図例である。さらに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。以後これを人型ピクトグラムと呼ぶこととする。

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、特に日本では、近年の外国人観光客の急激な増加や、2020年の東京オリンピック開催などの理由もあり、ピクトグラムを題材とする研究が盛んになっている[1][2]。

そこで本研究では、人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境「ピクトグラミング」を設計・構築し、その特性を評価する。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章でそれを評価し、7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目の理由、設計指針について述べた上で、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目の理由と設計思想

ピクトグラムは古くから、主にデザイン、コミュニケーションの視点から研究されてきた。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言われている[3]。有名な「非常口」のピクトグラム(図1の一番右)は、デザイン策定の段階で、実際に避難中の人が如何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[3]。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[4]。

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取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。その上で、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、自分の振る舞いをデフォルメした棒人間にデザインすることで、その振る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[5]。

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[6]。書籍[6]では、自分の身体に対する子どもの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子ども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言えば、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挙げられる。例えば、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[7]。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言われており、坂本らは特に女性にも関心を持ってもらうため、可愛いユーザインタ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

[8]。

また岡本らは、プログラミングの概念理解に関して、出力の動作を視覚的に顕在化することの重要性を指摘しており、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[9]。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。西田らも岡本の指標[9]を例に出した上で、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、図形描画を伴う例題を扱う方が、繰返しのような躓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[10]。

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[3]、木全[4]、熊崎[5]ら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連関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。

表1 視覚的顕在化と具体的解決方法
(文献[9]より抜粋要約)

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)	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

2.2 実装指針

2.1節を踏まえ、以下の3点を実装の上での指針とした。

実装指針 1: 人型ピクトグラムへの操作を主体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。

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。また各種プラグインを一切使用しない純粋な Web アプリケーションであるので、教育機関での利用阻害要因の一つである、OS の制限や、特定のアプリケーションのインストールは考慮に入れなくて良い。

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 2 に示す。画面は 3 つの部分から構成される。図 2 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 及び、実装指針 3 の視覚的顕在化の視認性及び判別性）。アプリケーションは、PC だけではなく、スマートフォンやタブレットのブラウザでアクセスした場合もそのディスプレイ領域に適したレイアウトで表示される。



図 2 実装アプリケーションのスクリーンショット(PC 版)

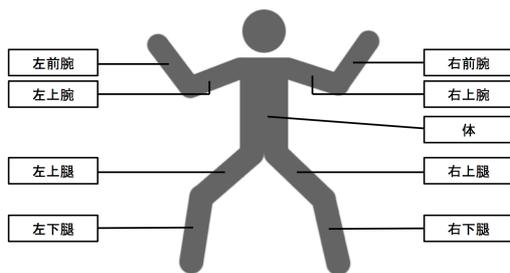


図 3 人型ピクトグラムを構成する部品(正面)

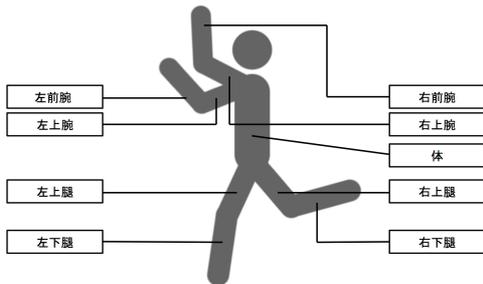


図 4 人型ピクトグラムを構成する部品(側面)

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と側面方向の人型ピクトグラムを、サイズも含めて忠実に再現し、表示している。正面方向と側面方向の人型ピクトグラムの形状をそれぞれ図 3, 図 4 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。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

入力可能な命令とその仕様の詳細は、3.3 節で説明する。

3.3 入力可能命令一覧

入力可能な命令は大別して 3 種に分類される。第一に、人型ピクトグラムの形状を変形する命令であり、これを「ピクトアニメーション命令」と呼ぶ。命令一覧を表 2 に示す。第二に、タートルグラフィックスに相当する命令で、これを「ピクトグラフィックス命令」と呼ぶ。命令一覧を表 3 に示す。ピクトアニメーション命令は、十分実装指針 2 を満たすと考えるが、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タートルグラフィックスの機能も実装し、両者の相乗効果を期待することとした。

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）。

第三にそれ以外の、繰り返し、変数定義、条件分岐等の命令が用意されている。命令一覧を表 4 に示す。

表 2 ピクトアニメーション命令一覧

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。

表 3 ピクトグラフィックス命令一覧

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

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 回繰り返す。
END	条件文、または繰り返しの終了。
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。
W arg1	arg1 秒何もせずに待つ。待ちが終了するまで次の命令は実行されない。

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そのまま使用できる。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みなす仕様としている。

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。

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。例えば、左上腕(部位 ID 1)が回転すれば、左前腕(部位 ID 5)も同角度回転する。また、体(部位 ID 0)が回転すれば、全ての部位が体を中心に同角度回転する。

表 5 命令コードと表記の対応

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
W	Wait	待ち	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
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 繰り返す	くりかえし
END	End end	終わり	おわり
SC	Scale	倍率	ばいりつ
SP	Speak speak	話す	はなす

押下の他、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、個々の命令が一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。

```
// 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

表 6 体の部位と表記の対応

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

3.4 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

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。

例えば、内田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 [11]。本アプリケーションでは、以下に述べるような Stage 1 から Stage 5 の段階的学習が可能となっている。

Stage 1: マウス操作による人型ピクトグラム制作

Stage 2: コード記述による人型ピクトグラムの静止画の制作

Stage 3: コード記述によるピクトアニメーション制作

Stage 4: コード記述によるピクトグラフィックス制作

Stage 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

それぞれの Stage で利用する命令を表 7 に示す。表 7 において○は、使用が想定される命令である。△は、使用は想定されないが、すでに以前の Stage で利用済みとなるため使用する可能性がある命令である。

表7 各 Stage と使用命令の対応

命令	Stage1	Stage2	Stage3	Stage4	Stage5
R		○	○	△	○
M		○	○	△	○
FR		○	○	△	○
SD		○	○	△	○
C		○	○	△	○
RW			○	△	○
MW			○	△	○
W			○	△	○
RP			○	○	○
END			○	○	○
IF				○	○
CS				○	○
SC				○	○
FD				○	○
BK				○	○
RT				○	○
LT				○	○
PEN				○	○
SET		○	○	○	○
SP					○

Stage 1 は、3.4 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、3.3 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づ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。3.3 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。

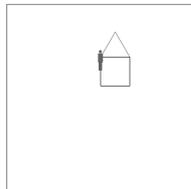
Stage 3 は、3 引数以上の R, M 命令や, RW, MW 命令を使用することで、静止画からアニメーション作成へ移行する。アニメーションの概念が入ることで、繰返し処理が視覚的に認知できるので、このステージで繰返し処理を学習する。

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する。

Stage 5 は、Stage 3 までの近距離視点と Stage 4 の遠距離視点の両状態がシームレスに融合したステージである。

岡本は、Norman の「体験的認知」「内省的認知」[12]、Laurel の「一人称的関与」「三人称的関与」[13]、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と一人称視点の二重化を意識する表示形式を例示している[14]。本アプリケーション利用の際の視点の二重化について表 8 にまとめる。それにより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。

表 8 本アプリケーション利用における視点の二重化

種別		
拡大率	大	小
当事者性	高	低
俯瞰性	低	高
効果	同一化が主	共感が主

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。

第一回の冒頭では、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。第一回は 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。

表 9 実践の概要

回	内容	時間 (分)
1	ピクトグラムに関する講義	25
	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

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[6]の中でも身体同調に注目し、人型に命令する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、歩行を伴わ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

各回の最後に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.どちらかというそうである」「4. どちらでもない」「3.どちらかというそうでない」「2.あまりそうでない」「1. 全くそうでない」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。

表 10 アンケート項目

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）

質問 1 の回答を表 11 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.どちらかというそうである」の回答が 9 割以上を占めた。

第 5 回と他の回の間で、Brunner-Munzel 検定を行なった結果、第 5 回と第 2 回とで、 $p<0.05$ 、第 5 回と第 2 回以外の回との比較で $p<0.01$ となった。

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”

	1	2	3	4	5	6	7	平均	分散
第 1 回	0	0	2	3	23	35	35	6.000	0.907
第 2 回	1	3	0	5	23	33	32	5.814	1.507
第 3 回	1	1	0	5	16	28	33	5.976	1.324
第 4 回	1	0	0	6	21	36	32	5.934	1.070
第 5 回	1	3	3	13	29	18	24	5.374	1.881
第 6 回	2	2	1	5	15	18	51	6.053	1.900

質問 2 の回答を表 12 に示す。第 5 回を除くすべて回において「7.とてもそうである」、「6. かなりそうである」「5.どちらかというそうである」の回答が 8 割以上を占めた。第 5 回と他の回の間で、Brunner-Munzel 検定を行なった結果、第 5 回と他の回の間で、 $p<0.001$ となった。

表 12 質問 2：“自分の作りたいと思う作品が設定できた”

	1	2	3	4	5	6	7	平均	分散
第 1 回	1	4	2	8	26	26	31	5.612	1.869
第 2 回	2	1	4	7	25	27	31	5.649	1.813
第 3 回	3	4	4	6	17	26	24	5.429	2.561
第 4 回	2	1	4	9	20	29	31	5.656	1.870
第 5 回	11	2	9	20	20	13	16	4.527	3.408
第 6 回	5	4	3	8	18	23	33	5.457	2.918

質問 3 の回答を表 13 に示す。第 1 回と第 3 回の平均値

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、そのため身体の動きを表現できたと考えられる。Brunner-Munzel 検定を行なった結果、第1回と第4回の間で、 $p=0.01024$ 、第1回と第2回の間で $p=0.01031$ 、第1回と第4回の間で $p<0.001$ となった。この有意差は、第4回、第5回では、身体の動作ではなく移動と捉えられるため、身体の動きを意識する生徒の割合が変化していると考えられる。

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”

	1	2	3	4	5	6	7	平均	分散
第1回	6	6	6	13	28	19	20	4.918	2.942
第2回	9	11	11	21	16	16	13	4.278	3.390
第3回	8	7	8	9	19	15	18	4.679	3.739
第4回	14	11	8	18	16	13	16	4.188	4.070
第5回	21	10	7	24	15	3	11	3.604	3.864
第6回	9	4	3	17	16	13	32	5.064	3.759

質問4の回答を表14に示す。第2回と第3回の間をF検定による検定をした結果 $p=0.01773$ 、第4回と第5回の間をF検定による検定をした結果 $p=0.00831$ となった。第3回目、第5回目、自由作品制作の第6回目は、自分の作りたいと思う作品ができなかった生徒がわずかながら他の回に比べて多い。

表 14 質問4: “自分の作りたいと思う作品ができた”

	1	2	3	4	5	6	7	平均	分散
第1回	2	5	1	13	25	25	27	5.418	2.163
第2回	2	0	1	13	31	24	26	5.546	1.542
第3回	4	1	6	8	19	22	24	5.369	2.549
第4回	2	3	3	12	21	29	26	5.479	2.042
第5回	10	2	8	16	22	11	22	4.747	3.547
第6回	7	6	2	9	15	24	31	5.287	3.476

質問5の回答を表15に示す。全体にわたり評価がばらけている。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ー系や、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 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”

	1	2	3	4	5	6	7	平均	分散
第1回	7	11	12	22	16	18	12	4.337	3.132
第2回	5	16	7	29	30	4	6	4.021	2.250
第3回	12	6	7	16	20	16	7	4.214	3.399
第4回	9	12	10	24	21	9	11	4.115	3.091
第5回	17	14	13	20	10	7	10	3.582	3.713
第6回	9	5	14	15	19	10	22	4.574	3.666

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。

表 16 “今回の授業の感想を自由に書いてください” 抜粋

回	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います。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なと思う。 回答2. 前の人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です。 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。

自由記述から、以下のような点が明らかになった。

a) 第1回目の回答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回目の回答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。

c) 第3回目の回答1,2に例示するように、Stage3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回目の回答2や、4回目の回答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回目の回答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。今回、条件式はJavaScriptの記法をそのまま踏襲したのが要因と思われる。今後の検討課題である。

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窺いしれる。

6.3 理解度テスト評価

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。課題内容は表17の通りである。実際に配布された課題プリントを付録1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プリントが配布されており、理解度テスト実施中も、そのプリントの閲覧は許容した。理解度を問う単元でプリントに掲載されている作例は初歩的なもので、理解度テストでは応用的な内容を問うている。

表17 理解度テストの内容

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再現できるか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

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とで課題提出とした。提出された内容を分析した結果を表18に示す。

表18 課題の結果

回	内容	完了者数 /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	0.938
3	課題3. ピクトアニメーション	95/99	0.960
3	課題4. 繰り返し処理	86/99	0.867
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	0.656

課題6. 条件分岐命令以外は、概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一つと生徒に捉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、繰り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、繰返す処理自体の記述の仕方という点では、完了数はより多い。条件分岐命令は6.2節のe)で言及したように、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挙げられる。描画するグラフィック自体がやや複雑であったのでこの課題について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。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を条件式に含む条件分岐命令を用いた事例の方が、学習者にとっては理解しやすかった可能性がある。よってピクトアニメーションの項で条件分岐を学習することも今後の検討課題である。

7. 他のプログラミング言語との比較

本章では、世の中で広く用いられているプログラミング言語との比較を行い、本プログラミング環境の長所を示す。今回はScratchとドリトルを比較対象とする。

Scratch¹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。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

¹ <https://scratch.mit.edu/>

意されている。

ドリトル²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他に、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 Arrow³も公開している。

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。本アプリケーションは、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 Blockly⁴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。

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ーを操作することになるため作風に影響が生じる。本件では、初期キャラクターを人型ピクトグラムであるので、同様に制約は生じるが、現実世界に存在する人間の身体をベースにしているため、人の身体、思考、社会性などの同調的学習を誘発する幅広いテーマが設定できる。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。

また、特に中学生以上ではほぼ全ての生徒、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。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。本アプリケーションでは、単純な図形である人型ピクトグラム単体を題材とし、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、学習できるのが長所である。

また、高等学校では次期学習指導要領で、情報の科学的理解を基軸とする「情報 I」が必修科目となり、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」という項目の他に、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」設定される予定である。科目単位として学習する際、限りある授業時間数の中でいかに学ばせるかは主題の一つであり、人型ピクトグラムを主眼に置くことで、両者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一つに挙げられる。

2 <http://dolittle.eplang.jp/>

3 <http://bitarrow.eplang.jp/>

4 <https://developers.google.com/blockly/>

8. おわりに

本稿では、人型ピクトグラムを用いたプログラミング学習環境「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。本アプリケーションでは、学習者がプログラムコード記述領域に入力した文字列を逐一専用サーバに送出している。時間の関係上今回は入力ログの分析は完了しなかったが、今後速やかに、授業全体に対しての操作・入力ログに基づいた定量的、定性的評価を進める予定である。

また、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を進める予定である。また、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検証する予定であり、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。また授業の実践及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, 原田利直: 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] 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).
- [3] 太田幸夫: 国際安全標識ピクトグラムデザインの研究 <http://www.tamabi.ac.jp/soumu/gai/hojo/seika/2003/kyoudou-ota1.pdf>
- [4] 木全賢: ひと目でわかるデザイン, デザインがわかる ISBN978-4-8465-2726-6, pp. 102-107 (2008).
- [5] 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)
- [6] Papert, Seymour. Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas. Basic Books, Inc. (1980).
- [7] 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).
- [8] 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).
- [9] 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).
- [10] 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).
- [11] Uchida, Yasuo, et al. "A proposal for teaching programming through the Five-Step Method." Journal of Robotics, Networking and Artificial Life 2.3, pp. 153-156 (2015).
- [12] Norman, Donald A. Things that make us smart: Defending human

attributes in the age of the machine. Basic Books (1993).
 [13] Laurel, Brenda. "Interface as mimesis." User centered system design: New perspectives on human-computer interaction, pp. 67-85 (1986).
 [14] Okamoto, Masashi, Yukiko I. Nakano, and Toyoaki Nishida. "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).

付録 1

1 第2回目授業中の理解度テスト

Step2
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
		

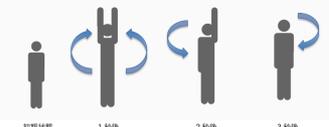
2 第3回目授業中の理解度テスト

Step3
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秒かけて右腕を下ろす。
 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、懸けて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。

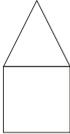


3 第4回目授業中の理解度テスト

Step4
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

Step4
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考に作成してください。ただし、プログラムの `REPEAT` の部分は隠してある

```

SET X 1
PEN DOWN
REPEAT 120
  FD X
  RT 60
  IF [REPEAT]
  [REPEAT]
END
SET X [X + 1]
END
    
```

