様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科研費 KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　６年　６月２０日現在

機関番号：３２６２５
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2018～2023
課題番号：１８Ｋ０２９２１

研究課題名（和文）ブロック型言語とテキスト型言語の相乗効果を意図したプログラミング教育の実践的研究

研究課題名（英文）Practical Study of Programming Education Aiming Synergistic Effect between Block-Based and Text-Based Language

研究代表者
山田　耕太郎（Kotaro, Yamada）

女子栄養大学・栄養学部・教授

研究者番号：２０３５３１２０

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はプログラミング教育において，ブロック型プログラミング言語とテキスト型プログラミング言語を用いる相乗効果を評価・検証することを目的としたものである。評価・検証に必要な学習者のプログラム構築過程の把握は，本研究で開発したシステムで可能となった。このシステムを使って学習者のプログラム構築過程を分析したところ，学習者の試行錯誤の質の違いがプログラミング行動に現れていることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義
プログラミング教育において学習者のプログラミング能力を評価する際には，最終的な成果物だけではなく，学習者がどのような思考過程によってプログラムを構築しているのかも考慮する必要があるのではないか，という問題意識に基づいて本研究を進めた。その結果，ブロック型プログラミング言語でのプログラム構築過程を詳細に把握できるシステムを構築することができた。この成果によって論理的思考やプログラミング的思考を時系列で分析し，途中で躓いた箇所をピンポイントで特定することができるため，より細かい学習支援が可能となる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to evaluate and verify the effects of using both block-based and text-based programming languages. The method developed in this research made it possible to see how learners create programs. We used this method to analyze the learner's programming process. As a result, we found that there was a difference in the trial and error of the learners.

研究分野：データサイエンス教育

キーワード：試行錯誤　プログラミング教育　ブロック型言語　テキスト型言語　Blockly

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

１．研究開始当初の背景

平成 18 年度から筆者は，文系大学生を対象にテキスト型言語である日本語プログラミング言語「なでしこ」を使ったプログラミング教育を継続的に行っていた。日本語プログラミング言語の利用は，その可読性の良さと入力の容易さから教育効果に一定の向上が見られるなどの効果があったが，その一方で，論理的思考力の不足からプログラムの組み立てや複数条件の組み合わせに困難を覚える学習者の存在も明らかとなっていた。そのため，ブロック言語の Scratch の導入や数理パズルによるアルゴリズム教育を行うなどしたが，直感的な判断や勘に頼って失敗する学習者の存在も明らかとなっていたため，ブロック言語の分かりやすさと日本語プログラミング言語の可読性の良さの両者の特性を活かした教育が必要であると考えていた。

また平成 29 年告示の小学校学習指導要領でプログラミング教育の導入が明記されたほか，諸外国においてもイギリスやハンガリー，ロシアなどでは初等教育段階での情報教育やコンピュータサイエンスに関わる教科の中でプログラミング教育が実施されるなど，国内外で初等・中等・高等教育それぞれの発達段階に応じたプログラミング教育の事例が数多く報告されていた。

研究開始当初は小学校でのプログラミング教育の導入を控えていたこともあり，ブロック型言語を用いた事例や取り組みの報告が多く，中でも特に Scratch を使ったものが多かったが，関数定義ができないことやプログラムコードとの関連が分かりにくいことなどからテキスト型言語への移行が課題となっていた。またテキスト型言語として日本語プログラミング言語を用いた事例は「ドリトル」を使ったものが幾つか報告されていたが，ブロック型言語と連携した研究は行われていなかった。そこで筆者は，ブロック型言語の Blockly では関数定義ができることとテキストコード（JavaScript）の生成が可能であることに加え，テキスト型言語「なでしこ」の Web 版では JavaScript が日本語で記述可能であることの利点を利用することによって，両者の相乗効果を期待した新しいプログラミング教育が可能になると考え研究を開始した。

２．研究の目的

小学校でプログラミング教育が導入されるなどのプログラミング教育の低年齢化に伴い，ブロック型言語によるプログラムで「ゲームを作る」「ロボットを動かす」ことを目的にした教材は数多く提案されていたが，ゲームを作ることが「できた」，ロボットを動かすことが「できた」というような，成果物が「できたかどうか」という点に焦点が当たることが多く，プログラム構築過程を詳細に検証するという研究は，研究開始当初にはほとんど見当たらなかった。ある目的を達成するために学習者が試行錯誤しながら自らプログラムを組み立てるという作業そのものに大きな教育効果が期待できるのは確かではあるが，その一方で場当たり的なプログラム構築や，ある水準で満足してしまってそれ以上の創意工夫を止めてしまう可能性があり，その場合はせっかく芽生えた論理的思考の芽を育てられないことになる。そこで本研究では，ブロック型プログラミング言語でのプログラム構築過程に焦点を当ててその過程をデータベース化して学習者の行動履歴の分析を行い，テキスト型言語でのプログラミング教育に移行したときにブロック型言語での成果を様々な気付きの起点として，思考力，判断力の育成につなげるための要素や知見を見出すことを目的とした。

３．研究の方法

先に述べた目的を達成するため，ブロック型言語として Blockly を，テキスト型言語として日本語プログラミング言語「なでしこ」を利用する。理由は両者とも Web アプリケーションとして実装されているため，ネットワーク環境とブラウザ搭載の端末（PC，タブレット，スマートフォンなど）があればいつでもどこでもプログラミング教育が可能であることと，Blockly が生成する JavaScript のテキストコードをなでしこによる日本語プログラミングに置き換えることで可読性が高まり，教育効果の向上が期待できるという利点に着目したためである。また Blockly は，ブロックの移動や削除の際にイベントメッセージを生成する仕様となっているため，そのイベントメッセージを捕獲し時系列で記録することによって学習者のプログラム構築過程を詳細に把握することが可能となる。

ブロック型言語からテキスト型言語への移行を行う際には，Blockly に JavaScript のテキストコードを生成する機能があるため，Blockly で構築したブロックプログラム（ゲームや図形描画）と同じことがテキストプログラムでも可能なことを示すことができる。これをブロックプログラムからテキストプログラムへの移行のきっかけとするが，筆者の経験からプログラミングの初心者は英数字表記のプログラムに対して大きな抵抗感や苦手意識を持つことが分かっているため，JavaScript の可読性を高めて教育効果を上げる必要がある。そこで日本語プログラミング言語「なでしこ」が日本語のまま JavaScript としてプログラム可能であることを利用し，Blockly が生成した JavaScript を日本語にして可読性を向上させ，プログラミングの初心者でも直感的にプログラムの内容を理解できるようにする。

研究開始当初の研究方法は以上のような計画であったが，研究期間中にコロナ禍に見舞われ研究計画を大幅に変更することになった。特にブロック型言語とテキスト型言語を併用する授業実践の前段階で Scratch となでしこを併用した授業を実施し，問題点や教材の精査を進めていた頃に対面授業が実施できなくなるなどの大きな支障が生じたことは非常に残念であった。

４．研究成果

（１）プログラミング構築過程をデータベース化するためのシステム構築

本研究の要はプログラミング構築過程の詳細な把握を行うことであるが，これは Google 社が開発した Blockly を使って実現できる。Blockly の操作性は Scratch と同様であり，PC 上でのマウス操作やスマホ・タブレット端末上でのタッチ操作で命令ブロックを組み上げてプログラミングすることができる。また Blockly は，命令ブロックへの操作に応じてイベントメッセージを発する仕様となっている。このイベントメッセージには，命令ブロックの種類や行われた操作（ブロックの作成・削除・移動など），属性（座標や親ブロックの UUID など）が含まれているため，これらのイベントメッセージを時系列データとして収集することにより，学習者が行ったプログラム構築過程を把握・分析することが可能となる。筆者は Blockly Games のひとつとして公開されている迷路ゲーム(Maze)を研究用の Web サイトに移植し，学習者が迷路ゲームを解く過程のイベントメッセージを収集するシステムを構築した。

命令ブロックへの操作で発せられたイベントメッセージの例を図１に示す。これは迷路ゲームのブロックパレットから「まっすぐ進む」の命令ブロックをワークスペースにドラッグアンドドロップしたときのイベントメッセージである。ドラッグアンドドロップの一連の操作で 4 つのイベントが発生しており，それぞれのイベントメッセージを json 形式でまとめている。1 つ目のイベントは命令ブロックの"作成"(create)に伴うものであり，そのブロックに付与された UUID(blockId)やブロックを定義する XML データなどの属性が与えられている。2 つ目のイベントは命令ブロックの"選択"(selected)に伴うものであり，ブロックの操作対象がこれまでのブロック(oldElementId)から新たなブロック(newElementId)に移ったことが分かる。3 つ目と 4 つ目のイベントは"移動"(move)に伴うものであるが，最初の"移動"はユーザがブロックを置いた（ドロップした）ときのものであり，それに続く"移動"はブロックがワークスペース上のグリッドに吸着されたことによるものである。これら一連の動作により，位置座標(newCoordinate)の値が 10 の倍数に丸められていることが分かる。このような一連のデータを追跡することで学習者のプログラミング構築過程を把握することができるようになった。


```
{
  "type": "create",
  "group": "iEMeX=q2%eqF!fZqfj|v",
  "blockId": "X|he~m4k`$t$sYJ1jCJ1",
  "xml": "<block xmlns=https://developers.google.com/blockly/xml type=maze_moveForward
id=X|he~m4k`$t$sYJ1jCJ1 x=-138 y=8></block>",
  "ids": [
    "X|he~m4k`$t$sYJ1jCJ1"
  ]
}
{
  "type": "selected",
  "group": "iEMeX=q2%eqF!fZqfj|v",
  "oldElementId": "D!5.Vvy4)_.n=UeWr2py",
  "newElementId": "X|he~m4k`$t$sYJ1jCJ1"
}
{
  "type": "move",
  "group": "iEMeX=q2%eqF!fZqfj|v",
  "blockId": "X|he~m4k`$t$sYJ1jCJ1",
  "newCoordinate": "196,226"
}
{
  "type": "move",
  "group": "iEMeX=q2%eqF!fZqfj|v",
  "blockId": "X|he~m4k`$t$sYJ1jCJ1",
  "newCoordinate": "190,230"
}
```


図１　イベントメッセージの例

（２）プログラミング構築過程における試行錯誤の質の差

上記のシステムを使い，迷路ゲームを解く際のイベントメッセージのデータ分析を行った。被験者は 21 名の大学 1 年生である。迷路ゲームは難易度に応じてレベル 1 からレベル 10 まであり，データの分析からレベル 9 までは 21 名全員がクリアできていたことが分かった。しかしレベル 10 をクリアした学生は 21 名中 12 名であった。レベル 10 をクリアした学生とクリアできなかった学生について，レベル 10 のみのイベントメッセージの数を比較すると，クリアした学生は平均 485 個だったのに対しクリアできなかった学生は平均 1,248 個であり，t 検定で有意な差が見られた（$p<0.05$）。この結果から，クリアできた学生は何らかの意図や方針に基づいてプログラムしているが，クリアできなかった学生は思い付きや当てずっぽうによる無駄な操作が多いのではないか，つまり試行錯誤の質に差があることを示唆していると考えられる。この傾向は他大学の学生を対象に行った結果からも読み取れるため，試行錯誤の質の向上がプログラミング力を向上させる資質のひとつとなっていることが考えられる。

（３）小学校における「プログラミング的思考」の市販玩具を用いた育成

本研究はプログラミング構築過程の「試行錯誤」に着目しているが，試行錯誤は小学校でのプログラミング的思考の育成にも重要であると考えており，プログラミング教育を充実させる要素のひとつの考察対象として，小学校での市販玩具を使ったプログラミング教育を行った。対象学年は５年生と６年生であり，小学校理科の「電流の生み出す力」と「電気の利用」の単元において，電気の性質や電流の働きをうまく利用している市販の玩具を分解し，なぜうまく動作するのかをプログラミング的思考によって理解することを狙いとする授業を実施した。この狙いに合致する玩具として選定したものは 100 円ショップで容易に入手可能な「ガーデンライト」と「ソーラーゆらゆら」である。それぞれの玩具は用途が異なっているが，どちらもコイルの働きが重要な役割を果たすという共通点があり，その動作は全てプログラミングでの「順次」と「反復」の考え方で同じ流れ図にまとめることができる。児童を対象としたアンケートの自由記述をテキストマイニングで分析した結果，頻出語とその共起関係には授業の内容と合致した好ましい傾向が現れれおり，試行錯誤でプログラミング的思考の育成を行うという授業の狙いが概ね達成できた。

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計3件（うち査読付論文　3件／うち国際共著　0件／うちオープンアクセス　0件）

１．著者名 山田耕太郎	４．巻 第29号
２．論文標題 ビジュアル型プログラミング言語によるプログラム構築過程把握の試み	５．発行年 2022年
３．雑誌名 比治山大学現代文化学部紀要	６．最初と最後の頁 75-82
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 山田耕太郎	４．巻 第28号
２．論文標題 小学校理科におけるプログラミング的思考のための市販玩具利用の試み	５．発行年 2021年
３．雑誌名 比治山大学現代文化学部紀要	６．最初と最後の頁 55-60
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

１．著者名 山田耕太郎	４．巻 第25号
２．論文標題 ボードゲームを使ったアルゴリズム教育の実践と評価	５．発行年 2018年
３．雑誌名 比治山大学現代文化学部紀要	６．最初と最後の頁 75-80
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 －

〔学会発表〕　計2件（うち招待講演　0件／うち国際学会　0件）

１．発表者名 山田耕太郎
２．発表標題 数学的な考え方とプログラミング的思考　－試行錯誤の観点から－
３．学会等名 日本算数教育学会
４．発表年 2019年

１．発表者名 山田耕太郎
２．発表標題 ボードゲームを題材としたアルゴリズム教育の実践
３．学会等名 教育システム情報学会
４．発表年 2018年

〔図書〕　計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

－

６．研究組織

	氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考

７．科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕　計0件

８．本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関