

令和元年6月27日現在

機関番号：32690

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26350284

研究課題名(和文)形式記法を用いた表現外化のための教育プログラムの開発

研究課題名(英文) Development of educational method for externalization of expression using formal notation

研究代表者

山本 樹 (Tatsuki, Yamamoto)

創価大学・総合学習支援センター・助教

研究者番号：30535266

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、プログラミング初学者を対象としたプログラミング教育について焦点をあて、プログラミングだけでなく、アルゴリズムやプログラミング的思考を含む論理的思考を育成する教育プログラムを開発することである。プログラミング教育の中で論理的に思考するためには、プログラムを構成する基本的なデータ構造・操作・制御構造を理解する必要があるため、プログラムの文法ミスが起きないビジュアルプログラミング環境(AT)を導入した。これに合わせ、プログラミング教育(授業)に算数の作問学習支援ツール「モンサクン」と論理トレーニングツールを導入することで、論理的思考力の養成を実施し、その結果を評価した。

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と論理的思考力(プログラミング的思考)を教育することを目的とし、算数・国語それぞれと融合したプログラミング学習を大学で実施し、それを評価した。プログラムの作成にはブロックプログラミング、算数の学習には小学校低学年から利用できる和と差の概念を学習する作問学習支援ツール、国語の学習には小学校高学年から利用できる論理トレーニングツールを利用している。実践した結果として、プログラミング力の向上がそれぞれで見られ、合わせて論理的思考力の向上も見られたことから、一定の学習効果があったといえる。この結果から、小学校でのプログラミング教育の一方略として利用できる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：In this research, we focused educational program to foster not only programming but also logical thinking including algorithms and programming thinking. At programming education is not possible to think logically unless you understand the data structure, operation, and control structure that make up the program. For the reason, acquire these basics, we utilized the visual programming environment (AT) developed to support algorithmic thinking education. With this, by introducing the arithmetic learning support tool "Monsakun" and the logic training tool into programming education (classes), we carried out the training of logical thinking ability and evaluated the results.

研究分野：教育工学

キーワード：論理的思考力 アルゴリズム的思考 プログラミング教育 プログラミング的思考 授業実践

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

これまでに、多くの論文が大学生の論理的文章作成能力の低下を指摘し、これを決するためのライティング指導に関する研究が進んでいる。さらに、大学でのライティング指導のための書籍が多く出版され、多くの大学で初年次教育として実践されており、ライティング指導のフレームワークは確立しつつある⁽¹⁾。しかし、ライティング教育では、学習者に対するフィードバック・評価において、教育者や研究者の経験則から導き出しており、教育者・研究者の経験によるところが大きい。つまり、教育者によって評価手法が依存しており、多くの機関で同じレベルの教育を行うことは難しい。初学者を対象としたプログラミング教育では、問題の解決方法を思考することなくトライ&エラーを試みる学生が顕在化している⁽²⁾。このことから、アルゴリズム的思考法教育を用いてアルゴリズム能力の訓練を育成する学習が実践されている^(3,4)。両者は、「認知スキル」を用いて「論理的」に思考し「問題を解決」し「他者に伝達」するプロセスを経て思考を表現していると言える。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自己の考えを、他者に正しく伝達するための教育方法を開発し、実践・評価することにある。

正しく考えを表現する手段として、アルゴリズム的思考を用いたプログラミング教育を取り上げる。他者とは、他の人間およびコンピュータとし、表現言語としては、自然言語と人口言語を扱う。教育プログラムの対象は、プログラミング教育と日本語のライティング教育とする。

3. 研究の方法

研究期間を前後半にわけ、前半を<分析・開発>期、後半を<実践・評価>期として段階的に研究を進める。

また、プログラミング教育とライティング教育については下記の通り実施する。

<プログラミング教育>

- ・ライティング教育で利用している要素とプログラミングでの構成要素との対応付けを行う。
- ・アルゴリズム的思考法教育を用いたプログラミング教育を実践し・評価する。
- ・プログラミングを記述する中での教育プログラムを開発し、実践・評価する。

<ライティング教育>

プログラミング教育で利用するための「書き方の制約」のための分析を行い、「書き方の制約」を策定する。合わせてプログラミングに関連する論理力を養成する。

4. 研究成果

(1) プログラミング教育

プログラミング教育ではアルゴリズム的思考教育の支援のために開発されたビジュアルプログラミング環境 AT を利用し、プログラムのデータ構造や、操作、反復・分岐といった制御構造の概念の理解を促すとともに、さらに、アルゴリズム的思考力を養成することを目的に、プログラミングの授業で実施した教育方法を述べ、その学習効果について分析、評価することを目的とする。

1.1 教育実践の概要

尚美大で 1 年次後期に必修科目として配当されている授業「プログラミング初級演習 1」を対象とする。各年度での大きな変更点は、下記の 2 つである。

1. 2014 年度から AT を導入
2. 2015 年度から AT 上で完成したプログラムを読み、その動作を推測する形式の課題⁽⁹⁾（以下、「トレース課題」と記す）を追加

2014 年度から AT を導入したことに伴い、2014 年度の授業方法も大きく変更した。また、AT では、課題の提示方法が多用であることから、提示方法も変更した。

なお、2015 年度からクラス分け方法を学籍番号でのランダムなクラス分けから、数学のテスト結果によるクラス分けに変更している。

1.2 評価

1.2.1 評価の対象者と評価データ

評価は、以下に記述する学生グループとする。各グループの履修状況は下記の通りである。

学生 2013：2013 年度入学生：AT を利用せずに授業を履修

学生 2014：2014 年度入学生：2014 年度実施の AT を利用した授業を履修

学生 2015：2015 年度入学生：2015 年度実施の AT を利用した授業を履修

評価用のデータとして、授業終了後に実施した期末試験を用いる。試験は全学生グループで同一である。また、解答方法は全グループ紙媒体の記述式である。期末試験は、C 言語を用いており、プログラムの読解、および、作成問題などがある。この中で、操作、制御構造の概念理解の評価では、プログラムを提示し、その実行結果を記述する問題を、アルゴリズム的思考力についてはプログラムの作成問題を用いて評価する

1.2.2 操作、制御構造の概念理解の評価

問題は、変数、分岐、反復が含まれたプログラムを提示し、読解する問題である。

正解を 1 点、不正解を 0 点とし各学生グループそれぞれの正答率の差について分散分析を行った（表 1）。

表1 学生各グループ別平均点・分散

	学生 2013 (N=178)	学生 2014 (N=172)	学生 2015 (N=164)
(2-1) 反復回数 (3 点)	2.35(0.82)	2.18(1.14)	2.15(1.15)
(2-2) 変数遷移 (3 点)	1.58(1.32)	1.78(1.38)	2.16*(1.28)
(2-3) 実行結果 (2 点)	1.46(0.51)	1.35(0.63)	1.29(0.70)
合計 (8 点)	5.38(4.54)	5.31(5.99)	5.61(6.33)

* $p < 0.05$

学生 2015 が学生 2013, 2014 に比べ, (2-2) 変数の値の遷移について, 5%水準で有意差が見られた。これは, 授業でトレース課題を追加したことが大きく影響していると考えられる。しかし, (2-2) 以外の平均点は, 学生 2015 が有意差は無いものの低くなっている。AT を導入した授業を履修した学生 2014 と学生 2015 の (2-3) の 2 つの問題それぞれの平均点を比較しても, 2 問とも学生 2015 の方が低かった。さらに (2-1), (2-3) それぞれの問題の平均点を比較しても, 5 問中 1 問のみ学生 2015 が高く, 4 問は低い結果となった。学生 2015 が学生 2014 より合計の分散値が大きいことから, 学生 2015 の学生間の能力の差が大きいことが影響していると推測される。

1.2.3 アルゴリズム的思考力の評価

問題は, 問題文とともに, プログラムを実行したときの「実行例」を提示している。評価対象とした問題は 2 問である。問題の概要は, (4-1) 数値を入力すると, その回数だけ画面に「処理実行中」と繰り返し表示するプログラムの記述, (4-2) 数値を入力すると, 1 から入力された値までの自然数の合計を計算し, その結果を表示するプログラムを記述するものである。

不破⁽⁴⁾らの評価項目を参考に, 本研究での評価対象の問題に含まれていない項目の削除, および, 本研究で, 操作, 制御構造の概念理解を評価することを考慮し, 項目の修正・追加を行い, 6 つの項目とした。

それぞれの項目について正しく記述されていれば 1 点, 誤りがあれば 0 点で採点した。各学生グループそれぞれの項目の平均点について分散分析を行った結果を問題別に示す (表 2, 3)。

表2 問題 (4-1) 各学生グループの項目別平均点と分散

	学生 2013 (N=178)	学生 2014 (N=172)	学生 2015 (N=164)
大枠の構成	0.59(0.24)	0.56(0.25)	0.64(0.23)
繰り返しの概念	0.65(0.23)	0.65(0.23)	0.72(0.20)
条件判断	0.52(0.25)	0.47(0.25)	0.64**(0.23)
変数概念	0.62(0.23)	0.57(0.25)	0.71*(0.21)
単純ミス	0.60(0.24)	0.56(0.25)	0.60(0.24)

** $p < 0.01$ * $p < 0.05$

表3 問題 (4-2) 各学生グループの項目別平均点と分散

	学生 2013 (N=178)	学生 2014 (N=171)	学生 2015 (N=161)
大枠の構成	0.36(0.23)	0.38(0.24)	0.48*(0.25)
繰り返しの概念	0.37(0.23)	0.39(0.24)	0.48(0.25)
条件判断	0.51(0.25)	0.49(0.25)	0.48(0.25)
変数概念	0.46(0.25)	0.48(0.25)	0.57(0.25)
計算	0.4(0.24)	0.39(0.24)	0.47(0.25)
単純ミス	0.27(0.20)	0.34(0.23)	0.37(0.24)

* $p < 0.05$

学生 2015 が学生 2013, 2014 に比べ, (4-1) の「条件判断」では 1%水準で, (4-1) の「変数概念」, (4-2) の「大枠の構成」では 5%水準で有意差が見られた。また, (4-1) の「大枠の構成」, (4-2) の「繰り返しの概念」, 「変数概念」では 10%水準で有意差を確認している。このことから両問題共通して, 「大枠の構成」, 「条件判断」, 「変数概念」で学生 2015 の平均点が他の学生グループより高くなったといえる。「大枠の概念」は, AT で例題の提示方法を変更したこと, 「条件判断」と「変数概念」は, トレース課題を追加したことが影響し, アルゴリズム的思考力が高くなったと推測する。

(2) プログラミング教育での算数文章題の作問学習支援システムの実践的利用

ビジュアルプログラミング環境においても, プログラム言語特有の文法や動作概念を理解する必要があることもあり, 2016 年度より, 学習者にとって把握可能な課題であり, かつ, プログラミング的思考を要求し, さらに, 学習者にある程度負荷のかかる難易度の課題として, 算数文章題の作問学習ツールである「モンサク」を採用した。モンサクは, 算数文章題を, 三つの単文の組み立てとして作問するものであり, 小学校において実践利用され, 学習効果が実証されているとともに, 大人であっても十分に思考を求められる課題であることが確認されている⁽⁵⁾。

2.1 モンサクンとプログラミング的思考の関係と AT とモンサクンとの対応

モンサクンは、算数の文章題の作問を単文の統合として行わせる「単文統合としての作問」を実現したツールである。学習者が作成した問題はシステムによって診断され、その診断結果に基づき、個々の問題に対するフィードバックが返される⁽⁶⁾。

モンサクンの作問学習は、(1)理解して分解する能力、(2)順序立てて考える能力、(3)分析する能力、(4)抽象化・一般化する能力、の4つである。プログラミング的思考の基本要素とされる4つの能力を求める課題となっている。

ATとの対比を考えるとプログラムの問題文を理解し、プログラムの処理単位に分割してアルゴリズムを思考することは、モンサクンでの学習活動の中の「分解する能力」、「分析する能力」と同じと考える。これは、課題に取り組む際に、問題文をよく読まずに解答を考える傾向が近年特に見られ、この問題に対してモンサクンの活動が利用できると考えた。ATでの空欄補充問題やブロック組み立て問題は、モンサクンの「順序立てる能力」と対応する。

2.3 実施内容

「プログラミングの学習前の準備運動」と位置付け、本教育ツールがプログラムを作成する上で基礎となる旨を学習者に伝えた。また、このツールの解答数が、授業の課題点とすることとした。各授業回でのツールの利用は、5分間で解答できる範囲で解くように指示した。

2.4 結果と考察

2.4.1 中間試験と期末試験の順位の変動との相関

中間、期末の順位とモンサクンの達成課題数には有意な相関はみられなかった。しかし、中間、期末の順位の変化とモンサクンのポストテストに有意な負の中程度の相関 ($r=-0.47$ ($p=0.01$)) が見られた(表4)。このことから、ポストテストの成績が良いと、期末試験の順位が上がっていることがわかる。この結果は、作問の能力が高かった学習者が、中間試験後の授業内容の理解度が、相対的に高く、よって相対的に成績が向上したことを示している。

表4 中間試験と期末試験とモンサクンのポストテストの相関

	中間試験順位	期末試験順位	ポストテスト
中間試験順位	1	0.67	0.26
期末試験順位	0.67	1	-0.18
ポストテスト	0.26	-0.18	1

2.4.2 アンケートと試験間の順位変動の相関

一方で、中間、期末の順位の変化とモンサクンのポストテストに有意な負の中程度の相関が見られた。アンケートのQ6とQ7の両方にポジティブな回答をした学習者と、ネガティブな回答をした学習者それぞれの中間と期末の順位変動を分析した。

- ポジティブ：3.357 (sd7.712)
- ネガティブ：-2.222 (sd=7.519) ($p=0.0482$, $r=-0.47$ ($p=0.01$))

アンケートの結果、モンサクンに対してポジティブな意見を持っている学習者は、中間試験での順位と期末試験の順位変動の平均に差がみられる。これは、モンサクンを、従来のような考えの下での算数の文章題とはとらず、プログラミング的思考に関係するものと理解することができた学習者において、授業後半の内容の理解度が高かったことを示唆している。

(3) ビジュアルプログラミングと論理トレーニングツールを併用した授業実践

3.1 論理トレーニングツール利用とその目的

算数の作問学習支援システムを使用し、その効果がある程度確認できたことから、次の段階として、論理トレーニングツール⁽⁷⁾をプログラミング教育に併用した。論理トレーニングを授業で採用した目的は、学習者自身が解決すべき課題を提示し、解決していく授業形態をとったことによる。これにより、学習者は「課題の提示」-「提示した課題を解決するための道筋(設計)」-「実現」の3つの段階を設定する必要がある。

3.2 実施概要

本ツールを利用した授業は、上述の「プログラミング初級演習1」を受講した後に実施される「プログラミング初級演習2」であるが、プログラミング言語の文法やデータ構造・制御構造についての理解が不十分であり、アルゴリズムを組み立てることが不十分な学生が多い。プログラミングの課題に入る前の「頭の準備運動」という位置づけで実施した。

3.3 評価

まず、論理トレーニングツール自体の有効性の評価を実施し、合わせて論理トレーニングツールが、プログラミングに及ぼす影響について、授業で実施しているプログラミング力に関する試験とツールの実施状況とを合わせた分析を行った。

国立教育政策研究所が公開している「特定の課題に関する調査(論理的な思考)」平成23年度高等学校第2学年調査I内容Aの問1、問2(三段論法)、大問4「交通事故のグラフ」①、②である。プレテスト、ポストテストの相関係数を表5に、t検定の結果を表6に示す。相関係数が0.52であり、1%水準で有意であった。またt検定においても、1%水準で有意であったことから、論理トレーニングツール利用によって論理力の向上が認められた。

次に2017, 2018年度の中間試験の平均点の単純比較を行った。2017, 2018年度で大きな変更はない。結果(表7)として, 2017年度に比べ2018年度が5%水準で有意であったことから, プログラミング力にも向上が見られたといえる。2017年度と2018年度の授業内容は第7回までほぼ同じであることから, 論理トレーニングツールがプログラミング力向上にも影響を与えたと考えられる。

表5 プレ・ポストテストの相関分析

	プレ	ポスト
プレテスト	1	
ポストテスト	0.52*	1

*p値: 0.0002

表6 プレ・ポストテストのt検定

	プレ	ポスト
平均	6.30	7.70
分散	7.06	6.44
P(T<t) 両側	0.0006*	
t境界値 両側	2.01	

表7 中間試験平均点の単純比較

	2017年度 (N=85)	2018年度 (N=63)
平均点	45.9	51.87
標準偏差	22.28	21.60
P(T<t) 片側	0.05	
t境界値 片側	1.66	

(3) まとめ

プログラミング教育に関しては, ビジュアルプログラミング環境 AT を用いた結果, 操作, 制御構造の概念理解については, 反復でのプログラムの動作と変数の値の遷移について, 理解の向上がみられた。また, アルゴリズム的思考力についても, 「大枠の構成」, 「条件判断」, 「変数概念」について, アルゴリズム的思考力の向上がみられた。

論理的思考力については, プログラミング教育の中で算数の作問学習支援ツール「モンサクン」を利用したことで, このツールにポジティブな意見をもった学習者の成績向上が見られた。また, 作問の能力が高かった学習者が, 中間試験後の授業内容の理解度が, 相対的に高く, よって相対的に成績が向上したことを示している。また, 論理トレーニングツールを併用した結果として, 論理力の向上のみならず, プログラミング力の向上も見られた。今後は, 「AT」「モンサクン」「論理トレーニングツール」3つのツールが, 互いに影響を与え, それぞれが学習効果として現れることを評価するための分析方法について検討していく。

<参考文献>

- (1) 木下是雄 (2012)『ライティング指導』, 中公新書
- (2) 村上和繁・大隅敏明 他5名: アルゴリズム的思考法の指導, 電子情報通信学会技術研究報告. ET2008-09-13, pp.29-34 (2008)
- (3) 飯田周作・飯田千代 他2名: アルゴリズム的思考法の教育, 情報処理学会研究会報告 2008-CE-93, pp.57-64 (2008)
- (4) 不破泰・國宗永佳・香山瑞恵 他2名: 情報工学科学生に対するアルゴリズム的思考法教育手法の提案と実践, 教育システム情報学会研究報告, 23(6), pp.34-41 (2009)
- (5) Nur H, Yusuke Hayashi and Tsukasa Hirashima "An analysis of learner outputs in problem posing as sentence-integration in arithmetic word problems", Research and Practice in Technology Enhanced Learning, <https://telrp.springeropen.com/articles/10.1186/s41039-017-0049-5> (閲覧日: 2017年7月11日)
- (6) 倉山めぐみ, 平嶋宗: "逆思考型を対象とした算数文章題の作問学習支援システム設計開発と実践的利用", 人工知能学会論文誌, Vol. 27, no. 2, pp.13-23 (2012)
- (7) 北村拓也, 長谷浩成, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: "情報構造オープンアプローチに基づく三角ロジックモデルの操作としての論理演習の設計開発", 1F3-2, 第31回人工知能学会全国大会 (2017)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2件)

- 1) 国宗永佳, 香山瑞恵, 新村正明: "「情報科学」におけるアルゴリズム・プログラミング教育を支援するビジュアルプログラミングシステムの提案", 日本情報科教育学会誌, Vol17, pp.37-46 (2014)
- 2) Nao Kono, Hisayoshi Kunimune, Tatsuki Yamamoto, Masaaki Niimura: Development and Evaluation of Functions for Elementary/Secondary Programming Education: The Visual Programming Environment "AT", International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning, vol.7, no.1, pp.13-23, March 2017.

[学会発表] (計 31件うち掲載分9件)

- 1) 山本樹, 国宗永佳: ” 初級プログラミング学習者に対するプログラミング概念理解のための支援方法の実践報告”, 教育システム情報学会第 39 回全国大会 (2014)
- 2) Hisayoshi Kunimune, Masaaki Niimura : ” Preliminary evaluation of a problem-posing method in programming classes”, Proc. of 18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2014)
- 3) 山本樹, 國宗永佳, 須藤智: ” ビジュアルプログラミング環境を用いたプログラミング初学者対象の授業実践と評価”, 教育システム情報学会研究報告 (2015)
- 4) 山本樹, 片桐恭弘, 國宗永佳, 須藤智: ” 文系学生を対象としたビジュアルプログラミングを用いたプログラミング初学者に対する教育の実践と評価”, 教育システム情報学会特集論文研究報告 (2015)
- 5) 山本樹, 國宗永佳, 河野直: ” アルゴリズム的思考教育を支援するビジュアルプログラミング環境の評価”, 教育システム情報学会第 41 回全国大会 (2016)
- 6) 山本樹, 華山宣胤, 國宗永佳: ” プログラムの動作理解を表出する課題の実践と評価”, 教育システム情報学会特集論文研究会 (2017)
- 7) 山本樹, 林雄介, 平嶋宗: ” 作問学習がプログラミング力に与える影響”, 日本教育工学会第 32 回全国大会 (2017)
- 8) 山本樹, 國宗永佳, 林 雄介, 平嶋 宗, 北村 拓也: ” ビジュアルプログラミングと論理力の養成を併用した授業実践報告”, 教育システム情報学会第 43 回全国大会公演論文集 (2018)
- 9) 上島駿, 國宗永佳, 山本樹, 新村正明: ” ビジュアルプログラミング環境 AT のハードウェア制御機能を用いた教材の開発と評価”, 電子情報通信学会技術研究報告(教育工学), 118, (510), ET2018-91, pp. 23-28 (2019)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 國宗永佳

ローマ字氏名: Hisayoshi Kunimune

所属研究機関名: 千葉工業大学

部局名: 情報科学部

職名: 教授

研究者番号 (8 桁) : 90377648

研究分担者氏名: 華山宣胤

ローマ字氏名: Nobutane Hanayama

所属研究機関名: 尚美学園大学

部局名: 芸術情報学部

職名: 教授

研究者番号 (8 桁) : 20299853

研究分担者氏名: 須藤智

ローマ字氏名: Satoshi Sudo

所属研究機関名: 尚美学園大学

部局名: 芸術情報学部

職名: 准教授

研究者番号 (8 桁) : 00383349

研究分担者氏名: 藤田悠

ローマ字氏名: Yutaka Fujita

所属研究機関名: 長野工業高等専門学校

部局名: 電子情報工学科

職名: 助教

研究者番号 (8 桁) : 80573120