

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：32418

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2011～2014

課題番号：23501103

研究課題名(和文)形式記法を用いた合目的な思考外化のための教育方法に関する基礎的研究

研究課題名(英文) Fundamental Research on Teaching Methods for Conception Externalization of using the Formal Methods

研究代表者

山本 樹 (Tatsyju, Yamamoto)

尚美学園大学・公私立大学の部局等・その他

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)：初学者対象のプログラミング教育の中で論理的文章作成力に必要な1つである「論理力」の養成を行うための教育方法を検討するための基礎的研究を行うことである。
プログラミング教育では、初学者がプログラムを作成するまでのプロセスが5段階あると考え、段階ごとにアルゴリズム的思考を用いた教育方法を検討し実践した。結果、アルゴリズム的思考教育を実施した学習者が、実施していない学習者より微小ながらプログラム作成力が上がった。
論理的文章教育では、基礎的調査として、論理的文章に必要な「論理力」について、これらに関する書籍のテキストマイニングを行った。結果、段落の構成力が必要であることがわかった。

研究成果の概要(英文)：Our aim in this research is to develop a procedure to educate university students how to make logical thinking.

A procedure, which is developed by supposing that beginners at programming undergo five stages, is applied to our computer programming education. As a result of applying the procedure, it has been found that students who can think logically learn to programming skill slightly more effectively than those who cannot do so.

In addition, as a preliminary investigation for developing a procedure in the education of logical thinking, documents in books, which is instructing logical writing, are analyzed using the tools of text mining. The result suggests that the skill for organizing paragraph is the most significant.

研究分野：教育工学

キーワード：アルゴリズム的思考 プログラミング教育 論理的文章教育

1. 研究開始当初の背景

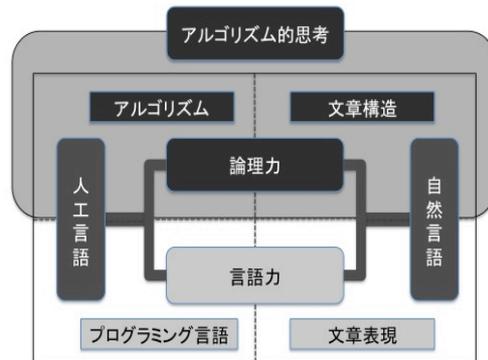
(1) これまでに、多くの論文が大学生の論理的文章作成能力の低下を指摘している^{(1),(2)}。また、この問題を解決するために、論理的文章の作成能力を高めるための教育実践やシステム開発に関する研究が多く行われている。しかし、これらの実践や研究における論理的文章作成能力の養成方法は、教育者や研究者が経験的に導き出したものであり、その教育者・研究者の能力によるところが大きい。つまり、現在の教育の多くは教授者の暗黙知で行われていることが多く、そのため、これらの方法を他の教育機関や課程において適用することは困難である。また、近年、大学を取り巻く状況、特に情報系の学生には卒業までに、問題解決力、論理的思考力、問題発見力などを身につけていることが求められることから、アルゴリズム能力の訓練によって、これらの能力を育成するよう、アルゴリズムに関する学習が見直されてきている⁽³⁾。この傾向は、工学系学部学科の専門科目のみならず、非工学系学部学科や一般教育においても認められる。これを教育する工夫としてアルゴリズム的思考法教育が実践されており^{(4),(5)}、日本語簡条書きによるアルゴリズムを外化する手法もある。

この2つの領域は共に、自己の考えを正しく他者に伝達する点から、論理力と言語力によって構成しているものと捉えることができる。この2つに共通性を持つアルゴリズム的思考という形式記法を用いて、論理的文章教育とアルゴリズム教育に対する教育方法を開発することが本研究の意図である。形式記法を用いることで論理的文章教育での教授者の暗黙知を形式化することが可能になると考えられる。また、アルゴリズム教育をアルゴリズム的思考法による教育で行うことによって問題解決力、論理的思考力を養う教育方法を、さらに発展させることができると考えられる。

(2) 本研究では、人工言語であるプログラミング言語と自然言語である日本語の論理的文章に対し、アルゴリズム的思考法を用いて、学習者の思考を外化するための教育方法を探究・実践することを目的とし研究を進める。

アルゴリズムは問題を解くための処理手順であり、アルゴリズム的思考法はプログラミング教育の前段階に行う基礎教育である。プログラムを記述する際は、実現したい動作をコンピュータで処理することが可能な単純な処理に分解し、これらの処理を適切な順序で並べた「アルゴリズム」を構成する必要がある。「アルゴリズム」は必ずしも言語表現されている必要はなく、頭の中で「考える」ものである。ここで考えた「アルゴリズム」をコンピュータ上で動作させるためにプログラミング言語で正確に書き下したものがプログラムである。一方、論理的文章を作成する際にも、まず、説明すべき事柄を、主題

を適切に設定し、対象者が理解できる形で説明するために情報を整理する。これも思考を外化する必要はない。思考したものを、設定した読者に合わせた書き方で曖昧さのないように、日本語という表現言語を用いて順序立てて記述することによって論理的文章ができあがる⁽³⁾。このときに必要となるのが言語力である。つまり、論理的な文章とプログラムには、「ある事象(事柄/動作)を対象(他の人/コンピュータ)が理解できる形に整理し、言葉(自然言語/プログラミング言語)で書き下す」という共通点があり、この2つの領域は共に、論理力と言語力によって構成されていると捉えることができる(図参照)。



このことから、2つの領域に対してアルゴリズム的思考を用いた教育が可能であると言える。この手法を用いた教育を展開する場合、最終的に学習者が外化する手法を考慮しなければならない。教育する対象がプログラミング教育の場合、プログラミング特有の文法を教授し、それとアルゴリズムを対応させる必要がある。また、論理的文章教育が対象の場合、アルゴリズムと論理的文章の対応を取る必要がある。プログラムは構成要素を逐次的に並べていくことでコンピュータが処理できる記述となることから、構成要素と論理的文章の文章構造に必要な要素との対応づけを行い、論理的文章とアルゴリズムとの対応を図る。つまり、プログラムの要素の並びが論理的文章構造の要素の並びと対応関係となるような分析が必要となる。さらに、日本語簡条書きによるアルゴリズム的思考法教育の手法を取り入れ、学習者の思考の外化を促す方法として「書き方の制約」を設ける。日本語は曖昧性のある言語であるため、「書き方の制約」を用いて文章構造の要素内で使用できる語彙やそれに対応する述語表現、一文の文字数などの制限を与える。アルゴリズム的思考法教育で使用している教育ツールに改良を加えることで「書き方の制約」を学習者に明示する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、自己の考えを、正しく他者に伝達するための、初歩的な教育方法を探

究することにある。

正しく考えを表現するための手段として、アルゴリズム的思考を取り上げる。他者とは、他の人間およびコンピュータを想定し、表現言語としては自然言語と人工言語とを扱うものとする。教育対象として、プログラミング教育と日本語の論理的文章教育を取り上げる。

3. 研究の方法

平成 23～25 年度までの 3 か年を前後半にわけ、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、論理的文章教育とアルゴリズム的思考法教育については下記の通り実施した。

<論理的文章教育>

- ・ 論理的文章の文章構造を明らかにし、プログラムの構成要素の並びと対応付けを行う。
- ・ アルゴリズム的思考法教育用のツールを改良し、実践を行う。

<アルゴリズム的思考法教育>

- ・ アルゴリズム的思考法教育での学習者の躓きの分析から教育方法の新たな開発を行い、アルゴリズム的思考法教育ツールに反映させる。
- ・ 改良した教育ツールの実践・評価。

4. 研究成果

(1) プログラミング教育では、プログラミング初学者がプログラムを作成するまでのプロセスには 5 段階あると考え、それぞれの段階ごとに、アルゴリズム的思考を用いた教育での方略を検討し授業で実践した。5 つの段階は下記である。

(1) 問題の理解

(1a) 要求の理解

与えられた問題文において、何を解くことを求められているかを理解している

(1b) 結果の理解

与えられた問題を解いたときに得られる結果(出力など)がどのようになるかを理解している

(2) プログラムへの転換

(2a) 概念の理解

解答となるプログラムを記述するために必要な概念(例えば制御構造や変数など)を理解している

(2b) 文法の知識

(2a) の概念をプログラムとして記述するための表記方法や文法に関する知識を持っている

(2c) 解法の再構成

(1b) において、得られる結果を導いた考え方(解法)を、(2a) の概念を用いて再構成することができる

ある程度プログラミングに熟達した学習者は、(1b) の段階においてプログラムを作成することを前提とした解法を考える。しかし、プログラムを作成できない学習者は、

この段階で漠然と考えた解法と、プログラムの処理手順とをうまく結びつけることができていないと考えられる。

そこで、各段階について困難を除く、あるいは軽減するための課題の提示方法および支援方法について検討を行った。

(1) 問題の理解については、実用的なプログラムを開発する上では必要不可欠な段階である。しかし、初級のプログラミング学習においては、プログラミング言語の基本的な文法や概念を習得することを目的としており、抽象的な要求から仕様を定義するなどの設計段階については学習目標に含まない、そのため著者らは、学習者が容易に具体的な状況や解法を理解することができるような問題を提示することによって、(1a) 要求の理解を容易にする必要がある。

また、(1b) 結果の理解についても、学習者が結果を想定できなければ問題を理解できているとはいえず、その状態でプログラムを作成させることは非常に困難である。そのため、学習者の背景知識に合わせて、結果を想定することが容易な問題を設定する必要がある。

つまり、初級のプログラミング学習においては、(2) プログラムへの転換が学習目標として重要な点であるため、(1) 問題の理解がプログラムの作成の障壁とならないよう、学習者にとって理解が容易な問題を提示することが重要であると考えている。

次に、(2) に示したプログラムの転換のうち、前提知識となる(2a) 概念の理解と(2b) 文法の知識について述べる。これらの段階については、プログラムを作成する以前に知識として定着している必要がある。

(2a) 概念の理解については、制御構造や変数などの概念について、実際の動作を見て学習するためのシステムを開発している⁽⁶⁾。このシステムでは、手続き型・構造化パラダイムのアルゴリズムを作成し、変数の値や制御の流れを 1 ステップごとに確認することができる。

(2b) 文法の知識については、各概念の表記方法を記憶することが求められる。文法的な誤りについてはインタプリタ・コンパイラなどによって機械的に検出することができ、記述の誤りによる誤動作については、プログラムの実行時に発見することが可能である。

(2c) 解法の再構成は、プログラムを作成する上での最も本質的な段階である。この支援を行うため、提示する問題の構成を、空欄補充問題、プログラムの一部を変更する問題、ブロックを組み立てる問題、プログラムの作成問題という順で提示した。さらに、これらの問題を提示する際には、「計画」ブロックに、プログラム作成時に大まかな見通しを記述したものを提示した。

これらの支援方法により、アルゴリズム的思考教育を実施した結果、支援方法を実施した学習者の方が、実施していない学習者より、

プログラムの文法事項の概念の理解については、理解度が向上した。一方、変数の概念の理解が不十分なこと課題となった。プログラムの作成力については、支援方法を実施した学習者と支援方法を実施していない学習者間に微小ながら差があったものの、統計的な有意差は見られなかった。これは、課題の問題文からプログラム言語に合わせた解法との関連付けができない学生が多く見られたことから、関連付けを促す課題を用意する必要がある。

上記のプログラミング教育とは別に、プログラミングを利用した文章技術教育の実施も行った。技術文書作成力を養成するために、設計書を作成し、それを基に他者がプログラミングし、作成した設計書とプログラムを対象にディスカッションする授業である。

その結果、明晰な日本語の記述、設計書の読み手への配慮、プログラミングに必要な記述内容の検討などが設計書に求められているという気づきを与えることができた。しかし、プログラミングを行うために必要十分な記述のない文書がみられた。また、設計書に基づいたプログラムが完成せず、プログラムを対象としたディスカッションができなかった。さらに、ディスカッションを通して気づいてほしい内容と一致しないことあるといった問題が浮き彫りとなった。

(2) 論理的文章教育では、日本語の論理的文章を教育するための基礎的調査として、論理的文章に必要な「論理力」について考察するため、代表的な書籍と考えられる3書籍^⑦、^⑧、^⑨を対象とし、テキストマイニング手法を用いて、文書技術で共通としていることや、各書の特徴を明らかにするための調査を行った。調査方法は、書籍に書かれている内容を分類し、分析することとした。分類方法は、先行研究で記した阿部の文章技術に関する項目^⑩の中の文章構造のレベル分けと、文章に必要な要素を考慮し、「語彙」、「文」、「段落」、「文章」の4つに分類した。これに合わせ、書籍にある章タイトル、節タイトル、項タイトルから、分類に合った内容を抽出した。分類した4つは下記が含まれる。

「語彙」

・助詞の用法、単位の書き方、漢字の書き分け

「文」

文の構成、修飾関係

「段落」

・段落に関する記述のみ

「文章」

・文章の構造、文章の構成、論理、事実と意見の違い

分類ごとにそれぞれに重要と考えられる項目をまとめた。

「語彙」

- ・漢字の表記
- ・助詞の使い方
- ・表記、用語の統一

「文」

- ・主語-述語関係
- ・文中の修飾関係
- ・読点の位置
- ・文の解釈へ影響

「段落」

- ・トピック・センテンスと話題文がある
- ・文の並び方（構成）
- ・接続詞に注意する

「文章」

- ・段落の構成
- ・説明文の記述順
- ・読み手に合わせた説明順序
 - 文章構造
 - 階層構造

これらの項目は、文章技術を指導する立場にある者から見れば、常に意識した指導をしているものであると考える。

今後、論理的文章教育で使用している日本語構成とプログラムで使用するアルゴリズムの構成を比較・検討する必要がある。

<引用文献>

- ①大野博之・稲積宏誠：技術文書作成支援ツールを活用した教育システム構築に向けて、電子情報通信学会技術研究報告，Vol. 108，No. 354，pp. 53-58 (2008)。
- ②馬場眞知子・田中佳子 他 3 名：日本語文章能力開発演習の試行と成果の検証，日本語リメディアル教育学会メディア教育研究，第 11 号，pp. 27-38 (2003)
- ③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)
- ④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)
- ⑤不破泰・國宗永佳・香山瑞恵 他 2 名：情報工科学科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)
- ⑥小林慶，國宗永佳，香山瑞恵，新村正明：アルゴリズム的思考法教育を支援するビジュアルプログラミング環境の開発，教育システム情報学会研究報告，Vol. 27，No. 4，pp. 3-8 (2012)
- ⑦木下是雄：『理科系の作文技術』，中央公論新社 (1981)
- ⑧阿部圭一：『明文術』，NTT 出版 (2006)
- ⑨日本テクニカルコミュニケーション協会：『日本語スタイルガイド第 2 版』，テクニカルコミュニケーション協会出版事業部 (2011)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ①Mizue Kayama, Makoto Satoh, Kei Kobayashi,

Hisayoshi Kunimune, Masami Hashimoto, & Makoto Otani, Algorithmic Thinking Learning Support System Based Student-Problem Score Table Analysis, International Journal of Computer and Communication engineering, 査読あり, 3(2), 2014, 134-140

② 國宗永佳, 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, 日本情報化教育学会学会誌, 査読あり, 7巻, 2014, 37-46

[学会発表] (計 25 件)

① 香山瑞恵, 國宗永佳, 山本樹, 新村正明, アルゴリズム的思考法のための学習環境とそこでの教育展開, 教育システム情報学会第36回全国大会, 2011.9.2

② 國宗永佳, 山本樹, 香山瑞恵, 新村正明, 不破泰, 情報工学科学生に対するアルゴリズム的思考法教育の実践, 教育システム情報学会第36回全国大会, 2011.9.2

③ 佐藤亮, 香山瑞恵, 國宗永佳, 伊東一典, 橋本昌巳, 大谷真, アルゴリズム的思考法の学習における課題の適切性に関する検討, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2012, 10, 27

④ 國宗永佳, 香山瑞恵, 新村正明, 情報工学科学生に対するアルゴリズム的思考法教育の実践と評価(第2報) 教区システム情報学会研究会, 213.3.16

⑤ 山本樹, 國宗永佳, 論理的思考法の図解を利用したアルゴリズム的思考法教育に関する一検討, 教育システム情報学会研究会, 2013, 3, 16

⑥ 山本樹, 國宗永佳, アルゴリズム的思考における問題解決プロセスの検討, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2013, 7, 27

⑦ 國宗永佳, 山本樹, 香山瑞恵, 新村正明, 初級プログラミング学習におけるプログラム作成過程と支援方法の検討, 教育システム情報学会第38回全国大会, 2013.9.2

⑧ 藤田悠, 山本樹, プログラミングを利用したソフトウェア開発文書教育の検討, 日本教育工学会第29回全国大会, 2013.9.23

⑨ Hisayoshi Kunimune, Tatsuki Yamamoto, Kei Kobayashi, Mizue Kayama, & Masaaki Niimura, Preliminary Visual Programming Education System, 2013.10.21~2013.10.24

⑩ 香山瑞恵, 小林慶, 國宗永佳, 新村正明, アルゴリズム要素の利用制御可能なビジュアルプログラミング環境, 日本情報化教育学会第1回研究報告, 2013.10.26

⑪ 佐々木瞬, 須藤智, 山本樹, 恩田憲一, プログラミング初学者のためのアニメーションを用いた学習支援システムの提案, 教育システム情報学会研究会, 2014.5.10

⑫ 國宗永佳, 大浦真暉, 香山瑞恵, 新村正明, 授業支援機能を有するビジュアルプログラミング環境 AT の開発, 教育システム情報

学会第39回全国大会, 2014.9.10~2014.9.12

⑬ 山本樹, 國宗永佳, 初級プログラミング学習者に対するプログラム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, 2014.9.10~2014.9.12

⑭ Hisayoshi Kunimune, Masaaki Niimura, Preliminary evaluation of problem-posing method in programming classes, Proc. Of 18th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2014), 2014.9.15=2014.9.17

⑮ 山本樹, 國宗永佳, 藤田悠, プログラムを用いた技術文書作成教育の検討, 日本教育工学会第30回全国大会, 2014.9.19~2014.9.21

⑯ 藤田悠, 山本樹, プログラミング教育を用いた文章作成力養成方法の検討, 日本教育工学会第30回全国大会, 2014.9.19~2014.9.21

⑰ 不破みのり, 香山瑞恵, 國宗永佳, 橋本昌巳, 大谷真, アルゴリズム学習における補助課題作成に関する基礎的検討, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2014.10.18

⑱ 大浦真暉, 國宗永佳, 山本樹, 新村正明, プログラミング学習の導入を支援するビジュアルプログラミング環境の開発と評価, 電子情報通信学会教育工学研究会, 2014.10.18

⑳ Mizue Kayama, Hisayoshi Kunimune, Masaaki Niimura, Masami Hashimoto, Makoto Otani, Algorithmic Thinking Learning Support System in Block Programming Paradigm, Proc. Of th 22nd International Conference on Computers in Education(ICCE2014), 2014.11.30 ~ 2014.12.4

㉑ 山本樹, テキストマイニングを用いた文章技術に関する書籍の調査, 教育システム情報学会研究会, 2014.1.10

㉒ 大西拳, 小尻智子, 山本樹, 修正糸推論に基づく設計ポリシー習得支援システム, 日本教育工学会研究会, 2015.2.28

㉓ 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会, 2015.3.21

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本樹 (YAMAMOTO, Tatsuki)
尚美学園大学・芸術情報学部・非常勤講師
研究者番号：30535266

(2) 研究分担者

國宗永佳 (KUNIMUNE, Hisayoshi)
信州大学・工学部・助教
研究者番号：90377648

須藤智 (SUDO, Satoshi)
尚美学園大学・芸術情報学部・講師
研究者番号：00383349

(3) 連携研究者

香山瑞恵 (KAYAMA, Mizue)
信州大学・工学部・准教授
研究者番号：70233989

(3) 研究協力者

不破泰 (HUWA, Yasushi)
信州大学・総合情報処理センター・センター長
研究者番号；00165507

藤田悠 (FUJITA, Yutaka)
長野工業高等専門学校・電子情報工学科・講師
研究者番号：80573120