

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：53203

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350371

研究課題名(和文) 手作業によるアルゴリズム構築支援教材の開発とくさび型授業展開に関する研究

研究課題名(英文) Development of Materials for Algorithm Education Emphasizing Manual Procedures and a Study of Wedge-Type Instruction

研究代表者

新開 純子 (SHINKAI, JUNKO)

富山高等専門学校・電子情報工学科・教授

研究者番号：60179067

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：アルゴリズムとデータ構造の教育において、データ構造の利用方法やアルゴリズムの原理を理解することも重要であるが、その原理をプログラムとして実現することも重要である。アルゴリズムの原理を理解しても、プログラム化するためのアルゴリズムを組み立てることは容易ではない。そこで、アルゴリズムの原理を理解し、さらにプログラム化するためのアルゴリズム構築能力を育成するために、手作業による処理プロセスを重視したアルゴリズム教育を試みた。教育実践の内容とその学習効果について報告する。

研究成果の概要(英文)：In algorithm and data structure education, although understanding of the utilization of data structure and the principle of algorithm are important, realization of this principle in the form of a program is also important. Even if students understand the principle of algorithm, it is not easy to build the algorithm for programming. To understand the principle of algorithm and to improve algorithm construction capability for programming, the authors attempted algorithm education emphasizing manual procedures. The authors will report contents of the education practice and its learning effect.

研究分野：教育工学

キーワード：情報教育 教材情報システム

1. 研究開始当初の背景

アルゴリズムとデータ構造の教育では、データ構造の特徴や利用方法を学び、それらのデータ構造を利用したソートや探索等の基本アルゴリズムを通して、そのアルゴリズムの原理や計算量による効率の理解に重点がおかれがちである。しかし、アルゴリズムの良し悪しによって効率が大きく変わることを実験的に体験させて理解させることも重要である。そのためには、アルゴリズムのプログラム化が必要になる。しかし、基本アルゴリズムの原理は理解できても、プログラム化のためのアルゴリズムを組み立てることができない学習者も少なくない。また、データの流れや処理の流れをイメージできない学習者もいる。これは、アルゴリズムの原理にしたがって行う処理やデータの流れから、プログラム化のための配列の添字操作や逐次・選択・反復の制御構造を表現するための規則性を見つけ出すことができないからであると考えられる。

このように、アルゴリズムとデータ構造の教育では、基本アルゴリズムの理解と論理的評価、さらに実験的に評価するためプログラム化するためのアルゴリズム構築能力を育成する効果的な教材や指導方法が求められている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、アルゴリズムとデータ構造の教育において、アルゴリズムの原理と効率を理解するだけでなく、プログラム化するためのアルゴリズム構築能力を育成するための効果的な教材と指導方法を提案して、授業実践を通してその効果を検証することである。

指導方法として、アルゴリズムとデータ構造の教育内容である基本アルゴリズムを手作業で体験的に学習する処理プロセス重視を提案する。手作業の処理プロセスでは、コンピュータで機械的に行う処理と乖離させないように、曖昧さのない単純な処理を組み合わせることを意識して、手作業の処理を行わせる。この手作業による体験的学習により、手作業の処理手順の中に逐次・選択・反復の規則性を見つけ出すセンスを身に着けさせる。

また、手作業の処理プロセスから、プログラム化のためのアルゴリズム作成を支援するための教材を開発して、その教材を活用した授業設計・実践・評価を行い、支援教材の学習効果を検証する。

3. 研究の方法

本研究では、プログラム化するためのアルゴリズム構築能力を育成するために、手作業による処理プロセスを重視する(図1)。手作業による処理プロセスでは、処理の流れとプログラム化のアルゴリズム表現のハードルを低くするために、データの動きと処理の流

れを曖昧さがないように箇条書きに表現する作業を行う。このような手作業による処理プロセスを重視した教育を実践して、その学習効果を明らかにする。また、手作業を重視した体験的アルゴリズム教育を行うための支援教材を開発する。さらに、開発した支援教材を活用した授業を実践して、その教育効果を明らかにする。

具体的に次の内容について研究する。

(1) 手作業による処理プロセス重視

プログラミング入門教育を受講した高専の情報系学科3年のアルゴリズムとデータ構造の授業に手作業の処理プロセスを重視した授業内容を実施する。表1に示すように、再帰アルゴリズムの授業以降は、アルゴリズムの考え方にしたがって、手作業で処理の流れをトレースするプロセスを行わせる。その後、プログラム化するためのアルゴリズムを作成して、最後にCプログラムを作成・実行して処理結果の確認等を行う。再帰アルゴリズムの授業では、nの階乗を再帰的に表現して、再帰的に呼び出す流れを手作業でトレースする。手作業のイメージを図2に示す。

図1 アルゴリズム作成までの流れ

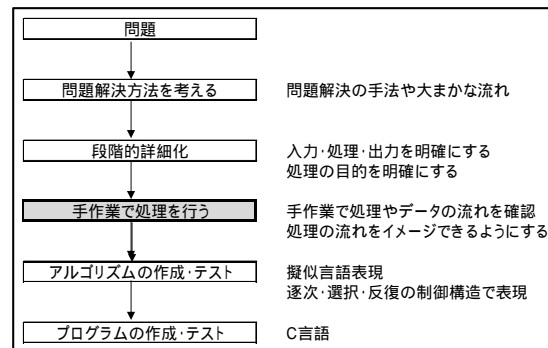


表1 授業内容と手作業の内容

No.	授業内容	手作業の内容	授業回数
1	アルゴリズムの基礎概念		1
2	アルゴリズムの計算量		1
3	再帰アルゴリズム	再帰呼出しのイメージ図作成	2
4	基本データ構造(スタック)	逆ポーランド記法への変換・計算をトレース	4
5	基本データ構造(キュー)	enqueue操作, dequeue操作をトレース	2
6	基本データ構造(リスト)	リストの要素を挿入・削除をトレース	2
7	ソートアルゴリズム	グループによるオリジナルソートプログラム作成	3
8	基本ソート	各ソートアルゴリズムの考え方にしたがって手作業でソート	1
9	ヒープソート		1
10	クイックソート		1
11	逐次探索(2分探索)	考え方にしたがって、手作業で探索をトレース	1
12	2分探索木, 2分木走査		2
13	グラフ探索(深さ優先探索)	考え方にしたがって、手作業でグラフ探索のトレース	2
14	グラフ探索(幅優先探索)		1
15	グラフ探索(最短路問題)	考え方にしたがって、手作業で最短路を求める	2

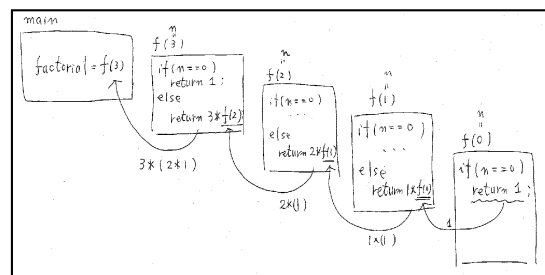


図2 再帰呼出しの手作業イメージ図

(2) 手作業によるアルゴリズム構築支援教材の開発

基本アルゴリズムの1つであるソートアルゴリズムの処理プロセスを手作業で行い、プログラム化のためのアルゴリズム作成を支援する教材を開発する。

(3) 開発した手作業によるアルゴリズム構築支援教材の活用

開発したアルゴリズム構築支援教材を活用した授業を設計・実践して、その学習効果を明らかにする。

4. 研究成果

3ヶ年の研究機関において、以下の研究成果を得た。

(1) 手作業による処理プロセスを重視したアルゴリズム教育の効果

プログラミング入門教育を事前に受講している学習者を対象に、手作業による処理プロセスを重視したアルゴリズムとデータ構造の授業を実践した。受講者は40名である。

授業の事後に、手作業の処理プロセス重視の学習効果に関するアンケート調査をおこなった。アンケート調査は5段階(5.ある、4.ややある、3.どちらともいえない、2.ややない、1.ない)で評価させた。表2は「3.どちらともいえない」に対して、平均評価値が肯定側ないし否定側に偏っているかを有意差検定で調べた。表2のm, SD, t値は、平均、標準偏差、検定統計量の値である。検定結果の**は、有意水準1%で有意差が認められてことを示す。表2はt値の高い順に項目を並べた。

あくまでも学習者の主観によるものであるが、表2の肯定的に有意に偏っていた項目から、次のことが分かった。

手作業による処理プロセス重視のアルゴリズム教育は、アルゴリズムを理解しやすくして、アルゴリズムのイメージをつかみ、プログラム化のためのアルゴリズム作成を容易にすると学習者は思っている。

手作業による処理プロセス重視のアルゴリズム教育は、アルゴリズムやデータ構造のイメージをつかむのに有用であると学習者は思っている。

調査時に自由記述で書かれた手作業による処理プロセス重視のアルゴリズム教育の良い点、悪い点を以下に示す。

(良い点)

- データや処理過程の状態が分かりやすく、考えがクリアになる。
- 処理の流れが良く理解できる
- 何をどうすれば良いのかわかりやすい
- アルゴリズムが理解しやすい
- 処理手順を失敗した時に気づきやすい
- アルゴリズムが考えやすくなった
- 処理の流れのイメージがつかめる

(悪い点)

- 手書きは書くのに時間がかかる
- 手書きは面倒くさい
- プログラム系の授業でないような感覚があった

自由記述の内容より、手作業による処理プロセスを重視した教育は、データの状態や処理の流れのイメージをつかむことを助け、アルゴリズムを考えやすくしていると学習者が思っていることがわかった。一方、手書きによる作業に時間がかかり、面倒であると思っている学習者がいることもわかった。

次に、用紙の中央に「アルゴリズム」と書いて、これから連想する語句を回答させ、学習者が獲得した知識やイメージを調査した。調査は事前(授業の1回目)と事後(表1の2分探索木・2分木走査の授業終了後)の2回実施した(N=40)。

事前で163個の語句が、事後では394の語句が列挙された。連想される語句を表3の1行目に示す5つのカテゴリに分類した。カテゴリのサブカテゴリをその下に示した。

5つのカテゴリについて、事前・事後の連想語の変化について²検定をした結果を表4に示す。検定結果の**、*は、それぞれ有意水準1%、5%で有意差が求められたことを示す。+は有意水準10%で有意差傾向が認められることを示す。²検定の結果、個数の偏りは有意水準1%で有意であった($\chi^2(4)=40.41, p<.01$)。そこで、残差分析を行った結果、基本アルゴリズムに関連した連想語が有意差1%で有意に増加していることが認められた。一方、アルゴリズム設計に関連した連想語が有意差1%で、感性と行動に関連した連想語が有意差5%で減少したことが認められた。

このことより、キー概念である「アルゴリズム」から連想する語句の中で、授業内容であるソートアルゴリズムや探索アルゴリズムなどの基本アルゴリズムに関連した連想語が増加していることがわかった。これにより、学習者が基本アルゴリズムを把握していることがわかり、知識面においても広がり認められた。一方、アルゴリズム設計に関連した連想語が減少した。これは、プログラミング入門教育で段階的詳細化、アルゴリズムの作成、プログラム作成のプロセスを重視した教育を行っていることにより、事前調査の段階でアルゴリズムからの連想語に段階的詳細化が含まれていたからであると考えられる。

表2 手作業による処理プロセスの調査回答に対する有意差検定

No.	評価項目	m	SD	t値	結果
3	アルゴリズムを理解しやすくする	4.0	0.8	7.9	**
1	アルゴリズムとデータ構造の理解向上になる	3.9	0.8	7.2	**
5	アルゴリズムのイメージをつかむことができる	3.9	1.0	5.4	**
2	アルゴリズムを考える力を向上させる	3.7	0.8	5.1	**
6	プログラム化のためのアルゴリズム作成を容易にする	3.5	0.9	3.3	**
4	アルゴリズムとデータ構造の学習意欲を向上させる	3.2	0.9	1.2	

表3 カテゴリごとのサブカテゴリ

アルゴリズム設計	基本アルゴリズム	データ構造	ソフトウェア	感性と行動
段階の詳細化	ソート	データ構造	OpenCV	わからない
段階的思考	バブルソート	配列	アドレス	難しい
流れ図	最小値選択法	スタック	反復	手書き
手順	挿入法	キュー	条件	地道
考え方	ヒープソート	リスト	帰納法	イメージ
オーダー評価	クイックソート	LIFO	共通鍵式	トランプ
効率	マージソート	FIFO	暗号化	苦手
再帰アルゴリズム	探索	グラフ	集合	人それぞれ
ハノイの塔	逐次探索		確率	速い
	2分探索			大事
	深さ優先探索			
	幅優先探索			

表4 カテゴリごとの連想語数と²検定

カテゴリ	実測値			期待値			調整化残差		
	事前	事後	合計	事前	事後	事前	事後	有意差	
アルゴリズム設計	54	71	125	36.6	88.4	3.9	-3.9	**	
基本アルゴリズム	27	154	181	53.0	128.0	-5.2	5.2	**	
データ構造	33	57	90	26.3	63.7	1.7	-1.7	+	
ソフトウェア	17	66	83	24.3	58.7	-1.9	1.9		
感性と行動	32	46	78	22.8	55.2	2.5	-2.5	*	
合計	163	394	557	163	394				

(2) 手作業によるアルゴリズム構築支援教材の開発

アンケート調査により、手書きによる処理プロセスに時間がかかり、面倒であると思っている学習者がいることが分かった。そこで、ソートアルゴリズムの手作業を支援する教材の開発を試みた。ソートアルゴリズムの手作業によるアルゴリズム構築支援教材の操作画面を図3、図4に示す。学習者は、手作業で行う操作を支援教材の画面上で行う。操作はカード2枚をクリックして選択し、「比較」、「交換」、「挿入」のボタンでカードへの処理を行う。手作業の操作とプログラム化のためのアルゴリズムとの乖離を少なくさせるために、支援教材はカードの並び替えの処理手順に従って変化するカードの並びと、配列表現による処理の内容を自動的に画面上に逐次表示する。また、支援教材は操作の履歴をテキスト形式で保存することもできる。

学習者は手作業によるアルゴリズム構築支援教材を活用して、カードの並び替え状況を画面で確認することができる。さらに、同時に表示される配列処理による処理の流れや、添字の動きが規則的になっている箇所を発見する。その後、逐次、選択、反復の処理を組み合わせて、プログラム化のためのアルゴリズムを作成する。



図3 カード並び替えの支援教材画面1

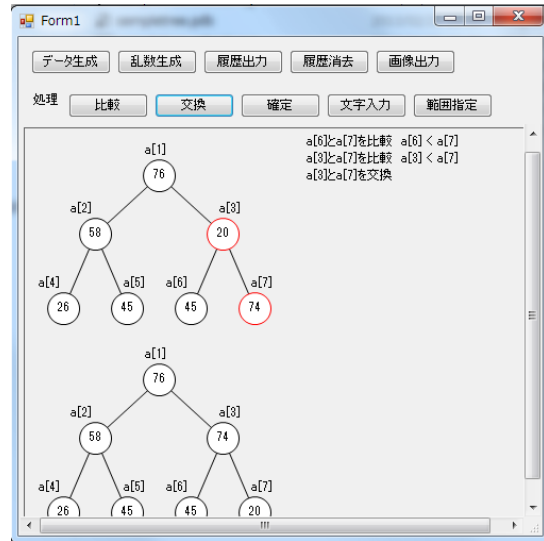


図4 カード並び替えの支援教材画面2

(3) 開発した手作業によるアルゴリズム構築支援教材の活用

手作業によるアルゴリズム構築支援教材を活用した授業実践後にアンケート調査を実施した。回答は5段階で評価させた。「3. どちらともいえない」に対して、平均評定値が肯定側ない否定側に偏っているかをt検定した結果を表3に示す。表5の検定結果の**は有意水準1%で有意差が認められたことを示す。#は有意水準10%で有意差傾向が認められたことを示す。

表5 手作業の支援教材を活用した授業実践に対する有意差検定の結果

No.	評価項目	m	SD	t値	結果
11	学習教材を使って手作業でカードを並び替える操作は、処理の流れを確認するのに役立つ	4.1	0.5	12.9	**
5	プログラム作成までのプロセス(段階の詳細化、アルゴリズム作成、プログラム作成)は、大事である	4.2	0.8	9.7	**
23	学習教材の機能は使いやすい	4.1	0.8	9.4	**
7	手作業で処理を行うことは、処理の流れを理解することに役立つ	4.0	0.7	9.3	**
12	学習教材を使って手作業の操作を配列表現で表示することは、アルゴリズムを作成するのに役立つ	3.9	0.7	8.4	**
19	学習教材はプログラム化のためのアルゴリズムの作成に役立つ	4.0	0.7	8.4	**
10	学習教材を使って手作業でカードを並び替える操作は、処理の流れを理解するのに役立つ	3.8	0.7	7.0	**
2	問題解決の手法を説明すれば、理解できる	3.9	0.8	6.8	**
17	学習教材の配列表現はわかりやすい	3.9	0.9	6.3	**
13	学習教材の配列表現の添字の流れを見れば、反復などの処理をおこなっている規則性の発見に役立つ	3.8	0.8	6.1	**
21	学習教材はアルゴリズムの流れを理解するのに役立つ	3.8	0.9	5.7	**
18	学習教材の処理履歴の配列表現はわかりやすい	3.8	0.9	5.6	**
6	プログラム化するためのアルゴリズムを作成できれば、プログラムを作成することができる	3.9	1.0	5.6	**
1	問題解決の手法(アイデア、大まかな流れ)を考えることができる	3.6	0.8	4.7	**
14	学習教材を使うとアルゴリズムを考えやすくなる	3.6	0.9	4.4	**
15	学習教材の配列表現の処理の流れは、プログラム化するためのアルゴリズム作成のハードルは低くなる	3.5	0.8	3.9	**
4	アルゴリズム作成時は、逐次・選択・反復の基本構造で作成している	3.5	0.9	3.6	**
8	手作業で行った並び替えの処理手順から、プログラム化するためのアルゴリズムを作成することができる	3.4	0.8	3.2	**
22	学習教材を使って学習したい	3.4	0.8	3.1	**
16	学習教材での操作と、プログラムでの処理は同じである	3.4	0.8	2.8	**
3	問題解決の手法を理解すれば、プログラム化するためのアルゴリズムを作成することができる	3.3	0.9	1.8	+
9	手作業で行った並び替えの処理手順を、配列を使った処理に置き換えることは簡単である	3.3	0.9	1.7	+
20	学習教材は学習意欲を向上させる	3.2	0.9	1.4	

肯定側に優位に偏っていた項目から、次のことがわかった。

支援教材は処理の流れを確認するのに

役立ち、プログラム化のためのアルゴリズムが考えやすくなり、アルゴリズム作成に役立つと学習者は思っている。支援教材の機能は使いやすく、学習に活用したいと学習者は思っている。支援教材の処理履歴の表現は分かりやすいと学習者は思っている。

今後は、さらに使いやすい支援教材に改良するだけでなく、アルゴリズムとデータ構造の多くの学習内容に対応する支援教材をさらに開発していきたい。

さらに、アルゴリズムとデータ構造の学習意欲を高め、プログラム化のためのアルゴリズム構築能力を育成するための教育方法の改善を図りたい。

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 6 件)

(査読付き学術論文)

- (1) Miyaji, I.: Effects in Blended Classes on Operations Research by the Practice, International Journal of Technology and Inclusive Education, Vol.4, Issue 2, pp.625-635 (2015). [査読有]
- (2) Miyaji, I.: Useful Activities for Improving the Attitudes and Characteristic of Student Groups in Programming Course, GSTF Journal on Education, Vol.3, No.1, pp.29-38 (2015) [査読有]
- (3) Miyaji, I.: Characteristic of Three Kinds of Blended Classes Categorized Using Awareness and Activities, American Journal of Education Research, Vol.3, No.12, pp.1336-1347 (2015). [査読有]

(査読付き国際会議)

- (1) Shinkai, J., Hayase, Y. & Miyaji, I.: A Trial of Algorithm Education Emphasizing Manual Procedures. In Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2016 (pp. 113-118). [査読有] Savannah, USA
- (2) Junko Shinkai, Yoshikazu Hayase & Isao Miyaji: Practice and Effects of Question-posing Activities in Programming Education, Proceedings of Hawaii International Conference on Education 2015 (pp.1578-1585). [査読有] Honolulu Hawaii, USA
- (3) Junko Shinkai, Yoshikazu Hayase & Isao Miyaji: Practice and Effects of Programming Education in Blended Quiz Production, Proceedings of The Sixth

International Conference on Mobile, Hybrid, and On-line eLmL 2014 (pp.108-111). [査読有] Barcelona, Spain

[学会発表](計 5 件)

- (1) 新開純子, 早勢欣和, 宮地功: 手作業の学習教材を活用したアルゴリズム教育の試み, 日本教育工学会第 31 回全国大会講演論文集, pp.407-408(2015.9.22). 電気通信大学(東京都調布市)
- (2) 新開純子, 早勢欣和, 宮地功: プログラミング教育における作問活動の改善と効果, 教育システム情報学会研究報告, vol.29, no.6, pp.31-34 (2015.3.21). 香川大学(香川県高松市)
- (3) 新開純子, 早勢欣和, 宮地功: 手作業による処理プロセス情報を重視したアルゴリズム教育の試み, 教育システム情報学会研究報告, vol.28, no.6, pp.43-46 (2014.3.15). 名古屋学院大学(愛知県名古屋市)
- (4) 新開純子, 早勢欣和, 宮地功: 作問活動をブレンドしたプログラミング教育の実践と効果, 日本科学教育学会中国支部シンポジウム講演論文集, pp.29-32 (2013.12.7). 岡山理科大学(岡山県岡山市)
- (5) 新開純子, 早勢欣和, 宮地功: プログラミング教育における作問活動の試み, 教育システム情報学会第 38 回全国大会講演論文集, pp.153-154 (2013.9.3). 金沢大学(石川県金沢市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

新開 純子 (SHINKAI JUNKO)

富山高等専門学校・電子情報工学科・教授
研究者番号: 60179067

(2)研究分担者

宮地 功 (MIYAJI ISAO)

岡山理科大学・総合情報学部・教授

研究者番号: 30043722

早勢 欣和 (HAYASE YOSHIKAZU)

富山高等専門学校・電子情報工学科・准教授

研究者番号: 60238144