

項目反応理論に基づき学習支援を行う

プログラミング演習用穴あきワークシートシステムの評価

榎本命^{*1}, 宮澤芳光^{*1}, 宮寺庸造^{*1}, 森本康彦^{*1}.

^{*1} 東京学芸大学

Evaluation of a Fill-in-the-blank Worksheet System for Programming Practical Training with Assessment Based on IRT

Mikoto ENOMOTO^{*1}, Yoshimitsu MIYAZAWA^{*1}, Youzou MIYADERA^{*1}, Yasuhiko MORIMOTO^{*1}

^{*1} Tokyo Gakugei University

近年のプログラミング教育への注目に伴い、初学者が独学でプログラミングの学習を行う場面が想定される。そこで、本研究では、初学者が独学で効果的にプログラミングの演習を行う環境として、学習者の学力に応じた学習支援を伴ったプログラミング演習用 e ラーニングシステムの構築を目的とする。目的達成のため、空欄の大きさによって段階的な難易度になるように穴あきワークシートを作成し、項目反応理論に基づいて学習者の学力を測定し、その学力に応じた学習支援を行うプログラミング演習用 e ラーニングシステムを開発した。本論では評価実験を行った結果について詳しく述べる。

キーワード: 穴あきワークシート, プログラミング教育, 項目反応理論, 学習支援, e ラーニングシステム

1. はじめに

近年、IT 人材の不足の深刻化⁽¹⁾などを背景に、プログラミング教育が注目されている。プログラミングとは、人が意図した処理をコンピュータに実行させるためにプログラムを作成することである。

プログラミング教育が注目されるに伴い、プログラミングに興味を持ち、自ら学びたいという学習者が増えることが期待されている⁽²⁾。そこで、現在では、独学で時間や場所に制限されることなく学習ができる環境の一つとして、プログラミングの学習を行うことができる e ラーニングシステムが多く見受けられるようになってきた。その中には、文法知識を習得する⁽³⁾、アルゴリズムを考える力を養う⁽⁴⁾といったプログラミングにおける基礎的な学力を習得するための e ラーニングシステムが存在する。一方で、プログラミングを用いて現実的な問題を解決できるようになるには、習得した知識を活用して課題を解決するプログラムを構築するプログラミングの演習を行うことも重要である。しかし、初学者にとってはプログラミングの演習を独

力で進めることは困難であるため、学習支援を含んだプログラミングの演習ができる環境が必要である。近年、学習支援においては、課題に対して学習者への支援が少なく難易度が高すぎると独力で解くことが困難になってしまい、支援が多く難易度が低すぎると学習者の思考が減少すると言われ、この現象は一般的に、Assistance Dilemma として知られている⁽⁵⁾。Assistance Dilemma を考慮した e ラーニングシステムとしては、Ueno ら(2015)は、項目反応理論に基づいた適応的なヒントを用いて足場かけを行う研究を行っている⁽⁶⁾。ここでは、プログラムを学習させるため、課題に誤答した際に学習者に応じたヒントを提示することで、学習者に応じた学習支援を実現している。しかし、ここで行われる学習はプログラムのトレース課題であり、プログラムを構築する演習としては不十分と考える。

そこで、本研究では、プログラミングの初学者を対象に、学習者の学力に応じた学習支援がプログラミング演習に組み込まれた e ラーニングシステムを構築す

ることを目的とする。

本研究における目的を達成するための要件として以下の2点を挙げる。

- 要件① eラーニングシステムで知識を活用しながら知識を深め、プログラミングの演習ができる
- 要件② 演習を行うときに、学習者の学力に応じた学習支援を行い、深く考えることを促すことができる

要件を満たすために、本研究では、プログラム中に空欄を設けて学習を行う穴あきワークシートに着目する。プログラミング学習における穴あきワークシートについて、柏原ら(2001)が「単に記憶だけでは空欄を補うことは出来ず、空欄の前後における処理の流れを追いながら必要な情報を収集することが求められる。こうした問題解決過程において、自ずとプログラムの処理過程を考える機会が増え、プログラム理解が深まる」と述べていることから⁽⁷⁾、プログラムの空欄を埋める過程で習得した知識を活用しながら課題を解くことができ、知識を深めることができると考えられる。よって、要件①を満たす可能性がある。

また、穴あきワークシートは、空欄の周囲にコメント文やコードを残すことで、それらを参考に解答を考えることができると仮定すると、学習支援としても活用できると考えられる。このことから本研究では、一つの課題に対して空欄の位置や大きさを変化させることで難易度を変化させるように穴あきワークシートを作成し、項目反応理論に基づいた適応的足場かけの枠組み⁽⁶⁾に適用することを提案する。これにより、常に学習者の学力に応じた穴あきワークシートを出題することで学習支援を行いながらプログラミング演習を行うことができ、要件②を満たす可能性がある。

本研究では、段階的に空欄を小さくする穴あきワークシートの作成方法を提案し、被験者実験の結果から作成方法に関して分析を行った⁽⁸⁾。また、提案手法による演習用eラーニングシステムの開発を行った⁽⁸⁾。本論では、評価実験の結果について詳述する。

2. 穴あきワークシートの定式化

ここでは、足場かけの枠組みに基づいた穴あきワークシートを定式化する。

2.1 穴あきワークシートに対する反応データ

ここでは、穴あきワークシートへの反応データに項目反応理論を利用するためのデータの形式を定義する。被験者の反応データ X から課題 j の識別力パラメータ a_j 、課題 j において k 番目の空欄で正答するときの困難度パラメータ b_{jk} を推定する。被験者 i が課題 j を解くとき、課題 j の穴あきワークシートのうち、最も難易度が高いときに正答した場合を $k = K$ とし、一段階難易度が低いときに正答した場合を $k = K - 1$ 、さらにもう一段階難易度が低いときに正答した場合を $k = K - 2$ というように、学習者が正答するまで難易度を低くする。これにより、

$$X = \{x_{ijk}\}, (i = 1, \dots, N, j = 1, \dots, n, k = 0, \dots, K)$$
を得ることが出来る。ただし、

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{段階}k\text{のときに学習者}i\text{が課題}j\text{に正答} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$$

である。 $k = 0$ は最も難易度が低いときに誤答したことを表し、 $x_{ij0} = 1$ は最も難易度が低いときに誤答した反応データを示す。

2.2 項目反応モデル

前節のようなデータ X が得られたとき、項目反応理論に適用することを考える。学習者の正答確率は、反応データ X から推定した被験者 i の学力を表す能力値 θ_i と項目パラメータ a_j 、 b_{jk} を所与として、項目反応理論における段階反応モデル⁽⁹⁾に基づいた式(1)の通りである。

$$P(u_j = k | \theta_i) \tag{1}$$

$$= \frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{j(k-1)}))} - \frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{jk}))}$$

ここで、

$$\frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{jk}))} = 0$$

$$\frac{1}{1 + \exp(-1.7a_j(\theta_i - b_{j(-1)}))} = 1$$

と設定する。ただし、 $b_{j0} < b_{j1} < \dots < b_{jk} < \dots < b_{jK-1}$ と制約される。

以上の定式化により、項目反応理論に基づいて事前に推定しておいた各段階の穴あきワークシートの識別力 a_j 、困難度 b_{jk} 、過去の解答データから測定した学習

者の能力値 θ_i を用いて、ある学習者 i が課題 j の各段階の穴あきワークシートへ正答する確率を予測でき、50%に最も近い段階の穴あきワークシートを出題することで学習者の学力に応じた学習支援を行う。また、課題を解き終えるたびに項目反応理論に基づいて学習者の能力値 θ_i を再測定することで、穴あきワークシートを用いて常に学力に応じた学習支援を実現できる。

3. 穴あきワークシートの作成方法

3.1 穴あきワークシート作成方法の提案

本研究で想定するプログラミング演習課題は、現実で問題解決に用いるような、ある程度の大きさを持つプログラムであるため、一つの課題として段階的な穴あきワークシートを作成することは困難である。

そこで、本論では、大学教授2名と大学院生1名で議論した結果として、以下の手順で穴あきワークシートを作成することを提案した⁸⁾。

- 手順1. 演習課題のプログラムを作成し、そのプログラムを処理の単位で独立になるように分割し、それぞれを課題とする
- 手順2. 課題のプログラム中に、命令、定数、変数、演算子の順番で要素が提示されるように段階的に空欄を設定し、穴あきワークシートを作成する

穴あきワークシートの作成方法の具体例を図1に示す。なお、本研究では作成した段階を、困難度レベルと呼び、全ての要素が提示されている穴あきワークシートを困難度レベル0とし、提示される要素が減るごとに困難度レベルを1ずつ足していくこととする。

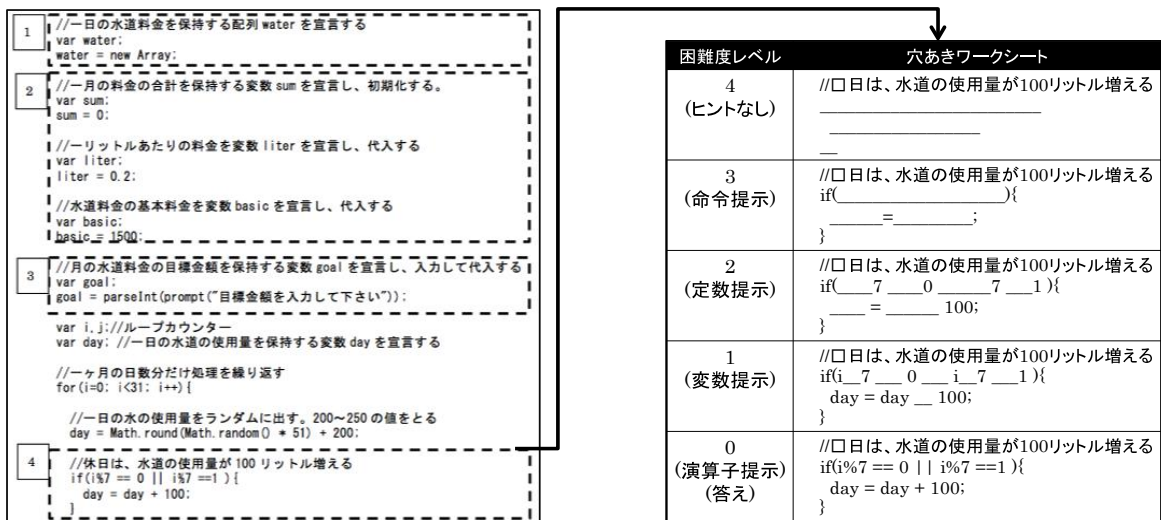


図1 穴あきワークシートの作成方法

3.2 被験者実験による穴あきワークシート作成方法の分析

3.2.1 被験者実験の概要

3.1 で提案した作成方法について分析をするために、被験者に対して実験を行い、反応データを得た。実験は、期間を2016年3月18日から5月25日として、プログラミングの基本構文を学んだ高校生20名と大学生42名、合計62名を対象に行った。今回は、プログラミング言語にJavaScriptを用いた。

演習課題は2題作成し、それらの演習課題に対して、3.1 で提案した作成方法に従って課題を作成した。その結果、合計16問の課題で構成された。

3.2.2 被験者実験の手順

実験は、演習課題の問題文と画面例を含む問題用紙、JavaScriptの基本的な構文が記載されたリファレンスを配布し、紙の穴あきワークシートに解答を記入させる形で行い、課題1から課題16の各課題について、以下の手順で進めた。

- 手順1. 課題 j において困難度レベル K に解答する
- 手順2. 正答した場合は解答を終了する
- 手順3. 誤答した場合は、空欄を段階的に減少させる
- 手順4. 課題 j において困難度レベル1で誤答した場合には、解答を終了する

この実験で2.1の反応データ X を得た。

3.2.3 項目パラメータの推定

項目パラメータ $(a_j, b_{jk})(j = 1, \dots, n, k = 0, \dots, K - 1)$ の推定値 $(\hat{a}_j, \hat{b}_{jk})(j = 1, \dots, n, k = 0, \dots, K - 1)$ を求めるために、ベイズ推定の枠組みで得られた反応データ X を所与として以下の事後分布を最大化する。

$$l(a_j, b_{jk}|X) \quad (2)$$

$$= \int \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^K [(x_{ijk} \log p(u_j = k|\theta, a_j, b_{jk})p(\theta)p(a_j)p(b_{jk})] d\theta$$

ここで、 $p(\theta) \sim N(0, 1^2)$, $p(a_j) \sim \log N(0.1, 1^2)$, $p(b_{jk}) \sim N(\mu_{jk}, 1^2)$ とし、 $K = 4$ のとき $\mu_{j0} = -2$, $\mu_{j1} = -1$, $\mu_{j2} = 1$, $\mu_{j3} = 2$, $K = 3$ のとき $\mu_{j0} = -1$, $\mu_{j1} = 0$, $\mu_{j2} = 1$, $K = 2$ のとき $\mu_{j0} = -1$, $\mu_{j1} = 1$ とする。積分は Gauss-Quadrature 積分により数値的に行う。結果として、パラメータ (a_j, b_{jk}) については、

$$\frac{\partial l(a_j, b_{jk}|X)}{\partial a_j} = 0$$

$$\frac{\partial l(a_j, b_{jk}|X)}{\partial b_{jk}} = 0$$

をニュートン・ラフソン法で解き、全てのパラメータ推定値の更新差が 0.001 以下になるまで繰り返す。ただし、パラメータ推定値が 50 回の繰り返し計算を経てもパラメータ推定値が収束しない穴あきワークシートを逐次、削除しながら全てのパラメータ値が収束するまで繰り返し計算を行う。

推定結果を表 1 と表 2 に示す。表 1 は、作成した課題のうち、3 カテゴリ以上で解答を得られた課題での項目パラメータである。表 2 は、2 カテゴリで解答を得られた課題での項目パラメータである。なお、表 1 中の NA は、解答が得られなかった穴あきワークシートである。

表 1 3 カテゴリ以上の項目パラメータ

課題	識別力	各困難度レベルでの困難度					
		0	1	2	3	4	
演習課題 1	1	1.15	-1.94	-0.79	0.36		
	2	1.03	-2.77	-2.22	-1.06	-0.46	
	3	0.97	-2.83	-1.28	0.27		
	4	1.30	-0.59	-0.22	0.79	1.69	1.95
	5	1.37	-1.30	-0.80	0.36	1.77	2.47
	6	1.96	-1.04	-0.53	0.27	0.55	
	7	1.54	-0.90	-0.75	0.01	1.40	2.19
	8	1.71	NA	-0.97	-0.82	-0.67	
	9	1.44	-1.80	-1.45	-0.41	0.28	
演習課題 2	1	1.24	-2.14	-0.99	0.17		
	2	1.62	-1.94	-1.11	-0.28		
	3	1.37	NA	-1.80	-1.38	-0.95	
	4	1.64	-1.82	-1.50	-0.71	0.54	1.30
	5	1.34	-1.44	-1.14	-0.37	1.06	2.02
	6	2.34	NA	-0.56	-0.41	-0.25	
	7	2.34	NA	-0.56	-0.41	-0.25	

表 2 2 カテゴリの項目パラメータ

課題	識別力	困難度
演習課題 2	6	1.40
		0.47

3.2.4 穴あきワークシート作成方法の分析

3.1 で提案した作成方法による穴あきワークシートの特徴の分析を行った。

まず、困難度が高い値を示していた課題については、問題文を元に自身でアルゴリズムを考えてプログラムを書いていく必要があるもの、命令・変数・定数・演算子と多くの要素が含まれているもの、for 文・if 文・配列を組み合わせるものが挙げられた。

次に、困難度が低い値を示していた課題については、変数の宣言や配列の宣言などの構文の一部を変更するものや、単純な四則演算を行うものが挙げられた。

さらに、ある課題において困難度レベル k から困難度レベル $k-1$ に変わった際に、困難度の値が小さく変化する段階と大きく変化する段階について分析した。困難度が小さく変化するのは、命令が提示されたときに多いという傾向がみられた。一方で、大きく変化するのは、数値が提示されたときに多いという傾向がみられた。これらは、初学者であっても問題文からどの命令を用いればよいかは把握できているものの、何をどう制御すればよいか分からないことが多く、数値を提示することによって何を考えていけばよいか考えることを促すことができるためだと考えられる。

4. 学習支援機能を持つプログラミング演習用穴あきワークシートシステムの開発

4.1 開発の概要

学習者の学力に応じて穴あきワークシートを活用した学習支援を行う機能を有する、プログラミング演習用 e ラーニングシステムを開発した。本システムは、Web アプリケーション上で動作し、インタフェース部は HTML, CSS, JavaScript を、エンジン部は Java を、データベース部には MySQL を用いた。

4.2 システムの概要

プログラミングの演習画面の例を図 2 に示す。画面左列がプログラムコード全体であり、現在取り組んでいる課題は赤く囲って表示される。課題は上から順に解いていく。画面上部の「問題文の PDF をダウンロード」ボタンを押すことで、この演習課題の問題文が記載されている PDF ファイルを閲覧できる。画面右列には、現在取り組んでいる課題の、現在取り組んで

いる穴あきワークシートが提示されており、その下には解答欄を設けている。

4.3 能力に応じた学習支援機能

演習の際には、まず、課題 j における困難度レベル最大の穴あきワークシートに解答し、誤答した際には足場かけの枠組みにより学習者 i の現在の能力値 θ_i と課題 j における各困難度レベル k の穴あきワークシートの項目パラメータ a_j, b_{jk} を(1)式に代入することで予測され、正答確率が50%に近い困難度レベルの穴あきワークシートが提示される。正答確率が50%に近い穴あきワークシートが提示された上で誤答した場合は、困難度レベル $k-1$ の穴あきワークシートを提示することを繰り返す。なお、困難度レベル1で正答できなかった場合には解答と解説を提示して次の課題に進む。困難度レベルが1以上で正答した場合、または、困難度レベル1で誤答した場合には、(2)式を用いてそれまでの解答データから能力値 θ_i を再推定する。まだ課題が残っている場合には、次の課題に進む。以上の流れを課題の数だけ繰り返し、演習を進めていく。

5. システムを用いた評価実験

本章では、提案手法によるeラーニングシステム上でのプログラミング演習が、要件を満たし、学習者のプログラミングの能力を向上するか否かの検証を行った。

5.1 実験の概要

5.1.1 実験参加者

期間を2016年11月23日から2016年12月6日とし、プログラミングの基礎を学んだ初学者である東京学芸大学教育学部情報教育選修・専攻の学部生・大学院生41名(1年生31名, 2年生1名, 3年生3名, 4年生3名, 修士1年2名, 修士2年1名)を対象として、提案手法によるeラーニングシステムを用いて演習を行う群(A群)と、通常のeラーニングシステムを



図2 eラーニング上での演習画面例

用いて演習を行う群(B群)に分け、評価実験を行った。

5.1.2 群分けの方法

被験者の群分けにあたって、群間のプログラミングの能力を均質にするため、東京学芸大学情報教育選修・専攻における1学年の授業科目「プログラミングI」の成績の値を被験者に事前に申告させ、平均と分散がほぼ同等になるように群分けを行った。その上で、学習を行う前に事前テストを行い、均質性を検証した。

5.1.3 評価の手順

2つの群に分けた実験参加者に対して、以下の手順に沿って実験を行った。

手順I 各群のプログラミングの能力を測定するための事前テスト(20分)

手順II 各群での演習用eラーニングシステムを用いた学習(50分)

手順III 各群のプログラミングの能力を測定するための事後テスト(20分)

手順IV 学習方法に関する質問紙調査(10分)

5.1.4 用いたeラーニングシステム

A群では、5章で開発した演習用eラーニングシステムを用いた。B群では、独力でプログラムを構築する一般的なeラーニングシステムとして、穴あきワークシートを用いて演習を行うが、困難度レベル最大の穴あきワークシートに誤答した際には、再度困難度レ

ベル最大の穴あきワークシートに解答するシステムを用いた。また B 群のシステムは、解答がわからない場合には解答を見て次の課題に進むことができる機能をもたせた。

5.1.5 評価方法

評価は、異なる e ラーニングシステムにおける被験者のプログラミングの能力の向上を検証するために、事前・事後で客観テストを実施した。事前・事後テストは初学者のプログラミングの能力を測定するものとして、習得した知識を用いてプログラムを完成させるものとした。テストの題材については、「情報の科学」の教科書からそれぞれ一つ選定した。実験者があらかじめそれぞれの題材を満たすプログラムを作成し、被験者に処理ごとのコードを記述させる問題とした。その結果、事前テストは 10 問、事後テストは 12 問で構成され、各問 1 点で採点を行い、その得点について分析を行った。

また、演習の際に知識を活用しながら深めることができたか、また学習者の学力に応じて支援を行うことができ、深く考えることができたかについて検証するために、自由記述を含む質問紙調査の結果を用いた。質問紙の質問項目は、プログラミングの知識を活用しながら深めることができたかに関する観点として、「プログラミングの知識の活用・深化 (5 問)」、「プログラミングにおける自信・意欲 (5 問)」を挙げ、学習者の学力に応じて支援を行うことができ、深く考えることができたかに関する観点として、「穴あきワークシートを用いた学習 (2 問)」、「穴あきワークシートを用いた学習支援 (A 群:6 問, B 群:4 問)」、「空欄の作成方法 (A 群:2 問)」を観点に挙げ、A 群は計 20 問、B 群は計 16 問を作成し、それぞれ 5 件法 (5 が高い) で実施した。また、両群にそれぞれ用いた e ラーニングシステムに関する良い点・改善すべき点について、自由に記述させた。

5.2 結果と考察

5.2.1 事前・事後テストの結果の考察

表 3 は、事前テスト・事後テストの得点について t 検定 (対応なし) を行った結果を表したものである。結果より、事前テストにおいては A 群と B 群の得点の間には有意差が認められなかった。したがって、A 群

と B 群のいずれかの平均点が高いまたは低いことはなかったため、両群の均質性が担保されたと判断した。一方、事後テストにおいては、A 群と B 群の平均点において有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均点の方が有意に高いことがわかった。したがって、穴あきワークシートを用いて学習者の学力に応じた学習支援を行う e ラーニングシステムを用いることで、プログラミングの能力をより向上できる可能性が示唆された。

表 3 事前・事後テストの結果

事前・事後テスト (N=41)	A 群 (N = 20)		B 群 (N = 21)		t 値
	M	SD	M	SD	
事前テスト (10 点)	4.40	1.88	4.29	1.93	0.19
事後テスト (12 点)	8.60	2.11	6.57	3.26	2.37*

* $p < .05$; ** $p < .01$

5.2.2 質問紙調査の結果の考察

表 4 は、e ラーニングシステムを用いたプログラミング演習に関わる質問紙調査の結果について t 検定を行った結果を表したものである。両群に回答を求めた項目については対応のない t 検定を用い、A 群のみに回答を求めた項目については中央値(3.00)を母平均とする t 検定を用いた。

「プログラミングの知識の深化・活用」に関する項目について、全項目で有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均値が有意に高いことがわかった。したがって、穴あきワークシートを用いて学力に応じた学習支援を行う e ラーニングシステムによる学習は、よりプログラミングに関する知識を活用し、深めることが示唆された。

「プログラミングにおける自信・意欲」に関する項目について、全項目で有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均値が有意に高いことがわかった。したがって、穴あきワークシートを用いて学力に応じた学習支援を行う e ラーニングシステムによる学習は、初学者にとってプログラミングに対する自信をもたせ、学習する意欲を高めることが示唆された。

「穴あきワークシートを用いた学習」に関する項目について、両項目において、有意差は認められなかった。平均値に着目すると、両項目において、両群とも高い値を示している。このことから、両群ともに穴あきワークシートを用いることによって、周囲の情報を収集しながら、解答を考えられることが示唆された。

「穴あきワークシートを用いた学習支援」に関する

表 4 質問紙調査の結果

観点	質問項目	A群		B群		t値
		(N = 20)		(N = 21)		
		M	SD	M	SD	
活用・知識の 深化	1. 自分が今まで持っていた知識を活用して課題を解くことができた.	3.90	0.45	3.43	0.93	2.09*
	2. 課題を解く過程を通して、新しい知識が身についたと感じた.	4.25	0.79	3.62	0.92	2.35*
	3. 課題を解く過程を通して、文法について深く理解できたと感じた.	4.10	0.79	3.33	1.02	2.69*
	4. 課題を解く過程を通して、アルゴリズムを考える力が向上したと感じた.	3.90	0.79	3.05	1.20	2.70*
	5. 課題を解く過程を通して、プログラムを記述する力が向上したと感じた.	4.20	0.70	3.33	1.02	3.20**
プログラミン グへの 自信・意欲	6. 今回のプログラミングの学習を通して、自分の力でプログラムを作成できる自信がついた.	3.70	0.92	2.95	1.12	2.33*
	7. 今回のプログラミングの学習を通して、自分の力でプログラムの課題を解けるようになったと感じた.	3.85	0.75	3.05	1.16	2.62*
	8. 今回のプログラミングの学習を通して、どのようにプログラミングを学べばよいかを知ることができた.	4.00	0.86	2.48	1.08	5.02**
	9. 今回のプログラミングの学習を通して、プログラミングを学習する意欲が上がった.	4.40	0.75	3.00	1.34	4.14**
	10. 今回行った学習方法であれば、一人でもプログラミングの学習を続けられると思う.	4.30	0.80	2.95	1.53	3.53**
穴あきワー クシートを 用いた学 習	11. 穴あきワークシートを用いることによって、周囲に残ったコメント文やコードの中から情報を探し、解答を考えることができた.	4.35	0.67	4.05	0.74	1.38
	12. 穴あきワークシートを用いることによって、周囲に残ったコメント文やコードの中から情報を探し、プログラムのアルゴリズムを把握することができた.	4.15	0.75	3.71	0.72	1.91
穴あきワー クシートを 用いた学 習 支援	13. ある課題で初めて提示される穴あきワークシートの難易度は、深く考えれば分かりそうな難易度だった.	3.25	0.79	3.33	1.20	-0.26
	14. ある課題で初めて提示される穴あきワークシートに誤答した際に提示される穴あきワークシートの難易度は、深く考えれば分かりそうな難易度だった.	4.40	0.50	-	-	12.46**
	15. 徐々に空欄が埋まっていく穴あきワークシートは、解答を考える上で役立った.	4.65	0.59	-	-	12.57**
	16. 誤答した際に、穴あきワークシートを用いて、どこを間違えたのかを考えた.	4.30	0.73	3.86	0.57	1.96*
	17. 誤答した際に、穴あきワークシートを用いて、再度解答を考え直した.	4.25	0.64	3.52	0.93	2.93**
	18. 誤答した際に、穴あきワークシートを用いて、プログラムのアルゴリズムを考え直した.	4.00	0.73	2.95	1.16	3.48**
空欄の作 成方法	19. 穴あきワークシートの空欄が埋まった際に、回答を考え直す際にヒントとなる箇所が埋まったと感じた.	3.25	0.72	-	-	1.56
	20. 穴あきワークシートの空欄が埋まった際に、プログラムのアルゴリズムを把握するためのヒントとなる箇所が埋まったと感じた.	3.20	0.70	-	-	1.29

* $p < .05$; ** $p < .01$

項目について、まず、質問項目 13.については、有意差が認められなかった。平均値に着目すると、A 群が 3.25、B 群が 3.33 と比較的高くない値となっている。このことから、困難度レベル最大の穴あきワークシートは、深く考えるには難易度がやや高いことが示唆された。一方で、A 群のみに解答を求めた質問項目 14.,15.については、有意差が認められ、平均値に着目すると、どちらも母平均である 3.00 を上回っていた。このことから、学力に応じた学習支援となる穴あきワークシートの難易度は、深く考えることに適していたことが示唆された。また、誤答した際に徐々に空欄が埋まっていく穴あきワークシートは、解答を考えることを支援していたことが示唆された。さらに、質問項目 16.,17.,18.については、有意差が認められ、B 群よりも A 群の平均値が有意に高いことがわかった。このことから、誤答した際に、穴あきワークシートを用いて

学習支援を行うことで、再度課題について考え直すことを促すことが示唆された。

A 群に対して回答を求めた、「空欄の作成方法」に関する項目について、両項目において、有意差が認められなかった。平均値に着目すると、それぞれ 3.25、3.20 と母平均である 3.00 と同程度であった。このことから、穴あきワークシートの作成方法については、より良い学習支援となるように改善をする余地がある。

さらに、それぞれの群に求めた、用いた e ポートフォリオシステムの良い点・改善すべき点の自由記述においては、A 群における良い点として、「一度解けなかったときに、なぜ自分の考えが間違っていたのかを空欄以外を見ながらよく考えることが出来た。」など、演習を行うにあたり、穴あきワークシートによる学習支援があることで、より深く考えることができたという主旨の記述が目立った。一方 A 群における改善すべき

点においては、「間違えたときにわからないところに対する答えを考えることができず、ヒントにならないときがある。」など、空欄の作成方法については改善することが必要な可能性が伺えた。また、B群における良い点としては、「自分の力でよく考えるようになったと思う。」などのA群と同じ趣旨の記述は見受けられたが、A群と比べその記述の数は少なく、また具体性に欠ける記述であった。一方、B群における改善すべき点の記述では、「わからなければ安易に正答を見るようになってしまう感じがしたので、自分で考えなくなる、答えを覚えようとしてしまう。」など、穴あきワークシートを用いたとしても支援がなければ考えることを阻害してしまう可能性が伺えた。

以上の議論をまとめると、穴あきワークシートを用いて学力に応じた学習支援を行うeラーニングシステムによる学習は、eラーニングシステム上で知識を活用しながら深め、プログラムを記述する演習を行うことができる可能性、また学習者の学力に応じた学習支援を行い、深く考えることを促すことができる可能性が示唆され、要件①、要件②を満たすことができたと考えられる。

6. おわりに

本研究では、プログラミング初学者を対象として、学習者の学力に応じた学習支援を伴ったプログラミング演習を行うことができるeラーニングシステムを構築することを目的に、段階的な穴あきワークシートを作成し、項目反応理論に基づいた適応的足場かけの枠組みに適用することで、常に学習者の学力に応じた学習支援を行いながら演習を行う仕組みを提案した。また、穴あきワークシートの作成方法を提案し、その特徴を分析した。さらに、提案手法に基づいたプログラミング演習用eラーニングシステムを構築し、そのシステムを用いて被験者に対して評価実験を行ったところ、要件①②を満たし、よりプログラミングの能力を向上する可能性があることが示唆された。

今後は、質問項目や自由記述から得られた知見である、穴あきワークシートの段階の作成方法に関して、より良いものを検討していく予定である。また、プログラミングの能力のうち、特にどのような力を育成す

ることができるかなど、より詳細な検証を行っていきたいと考えている。

謝辞

本研究は科研費(15H01772)の助成を受けたものである。本研究に御協力いただいた、光明学園相模原高等学校の笹原健司様、埼玉県立川越南高等学校の春日井優様、および関係者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 経済産業省: "IT人材の最新動向と将来設計に関する調査結果～報告書概要版～", http://www.meti.go.jp/policy/it_policy/jinzai/27FY/ITjinzai_report_summary.pdf (参照 2017.02.05)
- (2) 文部科学省: "小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について(議論の取りまとめ)", http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm (参照 2017.02.05)
- (3) 山本芳人, 廣瀬啓雄: "プログラミング言語を習得するためのJavaScriptを使用したWBT教材の開発と実践", 日本教育工学会論文誌, Vol.31, No.Suppl., pp.13-16(2007)
- (4) 新開純子, 炭谷真也: "プロセスを重視したプログラミング教育支援システムの開発", 日本教育工学会論文誌, Vol.31, No.Suppl., pp.45-48(2007)
- (5) Koedinger, K. R. and Aleven, V.: "Exploring the Assistance Dilemma in Experiments with Cognitive Tutors", Educational Psychology Review, Vol.19, No.3, pp.239-264 (2007)
- (6) Ueno, M. and Miyazawa, Y.: "Probability based Scaffolding System with Fading." International Conference on Artificial Intelligence in Education, Springer International Publishing, pp.492-50 (2015)
- (7) 柏原昭博, 久米井邦貴, 梅野浩司, 豊田順一: "プログラム空欄補充問題の作成とその評価", 人工知能学会論文誌, Vol.16, No.4, pp.384-391 (2001)
- (8) 榎本命, 宮澤芳光, 宮寺庸造, 森本康彦: "穴あきワークシートを用いた足場かけに基づく演習用eラーニングシステムの開発とプログラミング教育への適用", 日本教育工学会研究報告集 JSET16-5, pp.95-102 (2016)
- (9) Samejima, F.: "Estimation of latent ability using a response pattern of graded scores." Psychometrika Monography, No.17, pp.1-100 (1969)