

# 項目反応理論に基づいた適応的足場かけを用いた 穴あきワークシートの提案

## Proposal of a Fill-in-the-blank Worksheet using Adaptive Scaffolding Based on Item Response Theory

榎本 命<sup>\*1</sup>, 宮澤 芳光<sup>\*1</sup>, 宮寺 庸造<sup>\*1</sup>, 森本 康彦<sup>\*1</sup>,  
Mikoto ENOMOTO<sup>\*1</sup>, Yoshimitsu MIYAZAWA<sup>\*1</sup>, Youzou MIYADERA<sup>\*1</sup>, Yasuhiko MORIMOTO<sup>\*1</sup>,  
<sup>\*1</sup>東京学芸大学  
<sup>\*1</sup>Tokyo Gakuhei University

**あらまし**：本研究では、学習者のプログラミング能力に応じた支援を目的とし、項目反応理論に基づいた足場かけの枠組みを穴あきワークシートでの演習に適用する手法を提案する。具体的には、空欄の大きさが異なる穴あきワークシートを作成し、それぞれの穴あきワークシートの難易度を項目反応理論に基づいて分析し、適切な足場をかける方法を提案する。本論では、穴あきワークシートの課題を項目反応理論で分析した結果を報告する。

**キーワード**：プログラミング教育、穴あきワークシート、項目反応理論

### 1. はじめに

近年、初等中等教育を中心として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、コンピュータに意図した処理を実行させるためにプログラムを作成することであり、このプログラミングの能力を習得させるための教育をプログラミング教育と呼ぶ。プログラムを用いて現実の課題を解決するには、文法的な知識の習得のみだけでなく、解決する場面を想定し、実際にプログラムを作成して学ぶ必要がある。そこで、プログラムの一部を空欄として、その空欄に当てはまるコードを解答させる穴あきワークシートを用いた学習方法が挙げられる。穴あきワークシートは、穴を埋めるために既にかかれたコメント文やコードをヒントとして自ずとプログラムの処理過程を考える機会が増え、理解が深まると言われている<sup>(1)</sup>。また、学習者が空欄を埋める学習と、空欄の周囲にヒントとして情報を残すことで支援を同時に行うことが出来ると考えられる。しかし、一般的な穴あきワークシートは、プログラムの中で静的に空欄が設定されるものであり、学習者の能力に応じて空欄が大きすぎれば課題を解くことが困難になり、空欄が小さすぎると学習者自身が思考する学習機会が減少するため、トレードオフが存在する。

本研究では、プログラムに異なる大きさの空欄がある穴あきワークシートを用いて、学習者のプログラミング能力に応じた支援を行う方法を確立することを目的とする。具体的には、足場かけの枠組みに基づいた穴あきワークシートを提案し、この穴あきワークシートを用いた学習環境を提案する。本論では、足場かけの枠組みに基づいた穴あきワークシートを作成し、被検者にその穴あきワークシートを解かせ、そこで得られた反応データから項目反応理論に基づいて分析した結果を示す。

植野・松尾(2015)らは、項目反応理論に基づいて適応的なヒントを用いた足場かけの研究を行っている<sup>(2)</sup>。ここでは、プログラムを学習させるため、トレースの課題を出題し、誤答したときに学習者に応じたヒントを提示している。本研究は、ヒントの提示ではなく、穴あきワークシートの空欄の大きさを変化させることで足場かけを実現する。

### 2. 項目反応理論に基づいた足場かけ

まず、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。ここでは、項目反応理論に基づき、被検者の反応データ $X$ から課題 $j$ の識別力パラメータ $a_j$ 、課題 $j$ において $k$ 番目の空欄の大きさと正答するときの難易度パラメータ $b_{jk}$ を推定する。本研究では、被検者 $i$ が課題 $j$ を解くとき、はじめの空欄の大きさと正答したものを $k = K$ とし、次の空欄の大きさと正答したものを $k = K - 1$ 、さらに次の空欄の大きさと正答したものを $k = K - 2$ というように、学習者が正答するまで空欄を小さくする。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、

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

である。 $k = 0$ は最小の空欄で誤答したことを表し、 $x_{ij0} = 1$ は最小の空欄で誤答した反応データを示す。正答率は、反応データから推定した被検者 $i$ の能力パラメータ $\theta_i$ と項目パラメータ $a_j, b_{jk}$ を所与として、式(1)の通りである。

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

これにより、学習状況を能力パラメータ $\theta_i$ として、能力に応じた足場かけを行うことができ、課題に正答するごとに逐次能力を推定することで、能力が向上するに従って空欄が増加し、足場かけが実現される。

### 3. 足場かけに基づいた穴あきワークシート

#### 3.1 足場かけの枠組みの適用

本研究では、穴あきワークシートに対して足場かけの枠組みを適用する。ある課題に関して段階的な大きさの空欄を持つ穴あきワークシートを作成することで、学習者の学習状況に応じた足場かけとなる穴あきワークシートを実現する。

#### 3.2 穴あきワークシートの作成手順

演習課題は、現実で用いるようなプログラムであるため、一つのプログラムが大きなものとなる。したがって課題をそのままワークシートとすると、足場かけになるように段階的に穴あきを作成することは困難である。



図 1 穴あきワークシートの作成方法

そこで本研究では、大学教授 2 名と大学院生 1 名で議論し、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する。この手順で作成した穴あきワークシートの例を図 1 に示す。

**手順①.** 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.** プログラムの中で、予約語、定数、変数、演算子の順番で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

本研究では、この手順でプログラムに段階的な空欄を設けることで足場かけを実現することを考える。

#### 4. 項目パラメータの推定

反応データは、提案した方法で穴あきワークシートを作成し、その穴あきワークシートを被検者に解答させて収集した。

##### 4.1 概要

実験は、期間を 2016 年 3 月 18 日～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。

##### 4.2 課題と穴あきワークシート

今回の実験で用いたプログラミング言語は、JavaScript を用いた。演習課題は、以下の通りである。

- ・ 水道料金のシミュレーション用プログラム
- ・ 学級委員を決める投票プログラム

これらの演習課題で 3.2 に従って課題を作成した。結果、合計 16 問の課題で構成された。

##### 4.3 実験の手順

実験は画面例を含む課題用紙、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～課題 16 の各課題について、以下の手順に進めた。

**手順1.** 課題*j*において最も大きな空欄に解答する

**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*において最小の空欄で誤答した場合には、解答を終了する

この実験で 2 章の反応データ *X* を得た。

#### 5. 項目分析の結果

提案した穴あきワークシートの作成方法で足場かけが実現できるかを検証するために、各課題における穴あきワークシートの位置母数を推定することで難易度パラメータを求めた。その結果、図 1 の難易度パラメータを例として、すべての課題において穴あきワークシートの段階によって難易度に十分な差があることが確認された。したがって、難易度パラメータを用いて足場かけが実現できることが示された。また、すべての課題において穴あきワークシートの段階が進むにつれて難易度パラメータが減少していることから、穴あきワークシートによる空欄が減少するほど課題が簡単になる。つまり、穴あきワークシートの作成方法が妥当であることが示された。

#### 6. おわりに

本論文では、足場かけの枠組みに基づいた穴あきワークシートを用いたプログラミング学習支援の手法を提案した。また、実際に穴あきワークシートの課題を作成し、被検者にその課題を解かせ、得られた反応データから項目反応理論に基づき項目分析を行った。その結果、穴あきワークシートに対して足場かけが実現可能であることが示された。

今後は、この手法を用いて支援者がいなくても学習者のプログラミング能力に合わせた学習支援が行えるように、今回推定した項目パラメータを用いて演習用 e ラーニングを開発していく。

#### 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) 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, 16 卷, 4 号 C, pp.384-391 (2001)
- (2) 植野真臣, 松津淳哉: “項目反応理論を用いて適応的ヒントを提示する足場かけシステム”, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J98-D, No.1, pp.17-29 (2015)