

# プログラミング学習における足場かけのための 項目反応理論に基づいた適応的ヒントシステム

## IRT based adaptive hint system to scaffold the programming learning

堤 瑛美子<sup>\*1</sup>, 宮澤 芳光<sup>\*2</sup>, 植野 真臣<sup>\*1</sup>

Emiko TSUTSUMI<sup>\*1</sup>, Yoshimitsu MIYAZAWA<sup>\*2</sup>, Maomi UENO<sup>\*1</sup>

<sup>\*1</sup>電気通信大学情報理工学研究科

<sup>\*1</sup>Graduate school of informatics and engineering, University of Electro-Communications

<sup>\*2</sup>東京学芸大学次世代教育研究推進機構

<sup>\*2</sup>The Research Organization for Next-Generation Education, Tokyo Gakugei University

Email: tsutsumi@ai.lab.uec.ac.jp

あらまし：近年、学習科学の分野における多くの研究では、学習に足場かけが重要な役割であることを指摘している。効果的な足場かけのため、教師は学習者が課題を解くのに必要な支援の量を予測し、支援に最適な量を決定する必要がある。しかし、学習者の発達に有効な支援の量を定めることは困難である。本研究では、最適な足場かけは確率的な決定規則に基づくものとする。ここでは、項目反応理論に基づき学習者が課題を解く確率を調整する適応的ヒントシステムを開発した。予測正答確率を変化させ、学習効果を比較した結果、学習効果が最も高い確率は0.5の確率の足場かけであることが示された。

キーワード：学習科学，構成主義，足場かけ，認知的徒弟制，項目反応理論

### 1. はじめに

近年、学校現場では知識注入主義からヴィゴツキーに代表される社会構成主義<sup>(1)(2)</sup>に行こうしつつある。ヴィゴツキーの「最近接発達領域」(ZPD; Zone of Proximal Development)の考え方に従えば、学習者が独力で解けない高次の問題解決でも、教師が適度に助言することにより、学習者の発達を促すことができる。このような手法を定式化したのが、Bruner, J.の「足場かけ」(Scaffolding)である<sup>(3)</sup>。「足場かけ」は、学習者がひとりで解決できないような高次の課題解決を学習者の能力に応じて支援することである。

近年では、ソフトウェアによって足場かけ支援を試みるシステムの開発・研究が行われている。しかし、これまでに開発されてきた足場かけシステムでは、(1)学習者の発達の状態が定式化されておらず、(2)最適な足場かけのために必要な支援の量を予測できず、(3)学習者の能力の向上に合わせて最適な支援を与える戦略を設けていない。

筆者らは、これまで足場かけのためのシステムを開発してきた<sup>(4)</sup>。本研究では、本システムを実際の被験者に実施し、課題への正答確率が0.5になる支援を与える足場かけの学習効果が最も高かったことを示す。

### 2. 項目反応理論による適応的システム

本研究で開発したシステムを図1に示す。本システムでは、プログラミングのコードが提示され、学習者に変数の最後の値を解答させる。ヒントには、プログラミングの文法に関する内容やプログラムのコードの途中の変数の値が表示される。システムのアルゴリズムを図2に示す。まず、システムは、学習

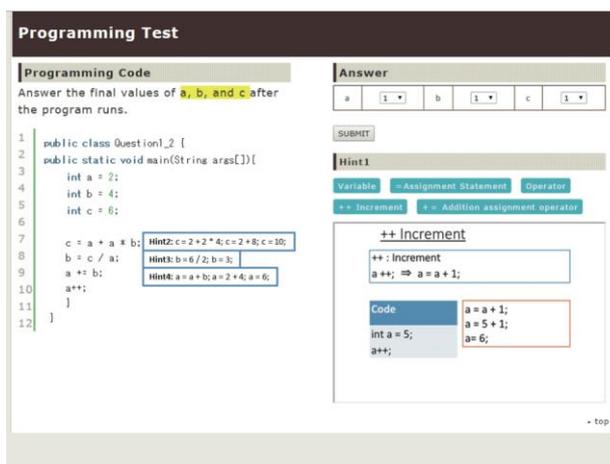


図1 システムの画面例

者に課題*j*を提示する。学習者*i*は、その課題に解答する。システムは、その解答を自動で採点する。その結果が誤答であれば、項目反応理論に基づいて学習者の能力値 $\theta_i$ からヒントが提示された時の正答率を予測し、ヒントを提示する。

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

ここで、 $a_j$ ,  $b_{jk}$ はそれぞれあらかじめ推定された課題*j*の識別力パラメータとヒント*k*の難易度パラメータを示す。これを学習者が課題に正答するか、ヒントがなくなるまで繰り返す。この後、項目反応理論に基づいて学習者の能力を推定し、次の課題を提示する。本システムでは、プログラミングの課題として、「変数」「条件分岐」「while ループ」「for ル

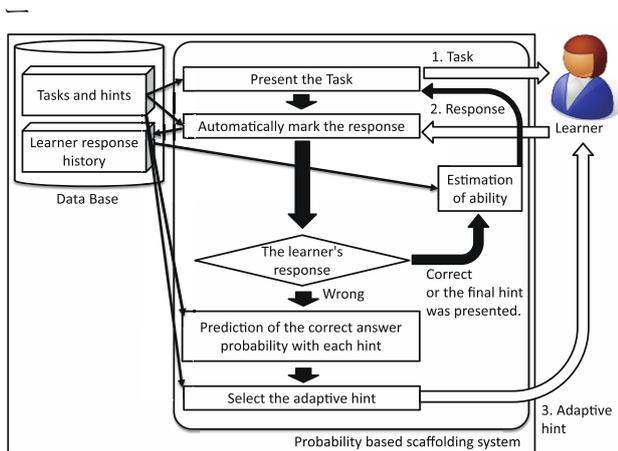


図 2 システムのアルゴリズム

た正答率と実際の正答率がほぼ同等であることが示された。

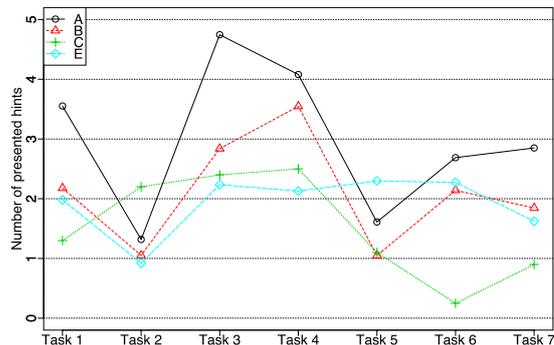


図 3 提示されたヒント数の平均

プ「配列」が出題される。

### 3. 評価実験

本章では、ヒント提示手法の違いによる事前事後テストの学習効果の比較を行う。被験者は、工学系に在籍する大学生 93 名で、プログラミングに関する知識は入門レベルである。次のグループに分類した。

- A群 正答率が 0.8 に近くなるようにヒントを提示
- B群 正答率が 0.65 に近くなるようにヒントを提示
- C群 正答率が 0.5 に近くなるようにヒントを提示
- D群 ヒントを提示しない
- E群 ヒントを難しいものから順次提示
- F群 解答と解説を最初から丁寧に提示

事前テストと事後テスト、記憶保持テストの平均点、学習時間を表 1 に示す。括弧の値は標準偏差である。分析では、1 要因分散分析を行い、有意差があった項目を Tukey の方法で多重比較を行った。事前テストでは、結果に有意差はなく、グループ間でほぼ同等の得点であり、被験者の事前のプログラミング知識レベルは等質であると考えられる。事後テストでは、予測正答確率が 0.5 の C 群が A 群, B 群, D 群, E 群, 及び, F 群に対して、1%水準、または、5%水準で有意に平均点が高かった。図 3 に提示したヒント数の平均を示す。課題の難易度が異なるため、ヒント数が単調に減少しないが、課題 4 の後は、C 群のヒント数は減少しており、フェーディングが有効に働いていることがわかる。図 4 は、ヒント提示後の正答率を示している。この結果から、予測され

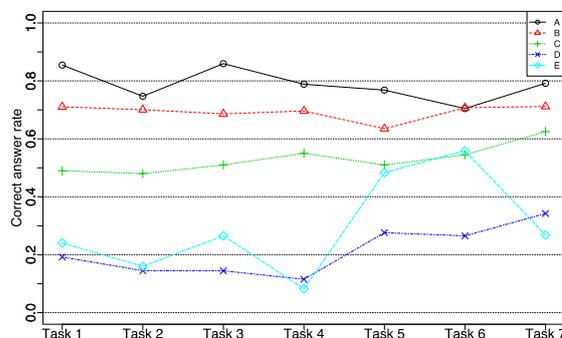


図 4 ヒント提示後の正答率

### 参考文献

- (1) L.S. Vygotsky, Thought and language, Cambridge, MA: MIT Press (1962).
- (2) L.S. Vygotsky, Mind in society, Cambridge, MA: MIT Press (1978).
- (3) J.S.Bruner, "The role of dialogue in language acquisition," In A. Sinclair, R.J. Jarvella, and W.J.M. Levelt, (Eds.) The Child's Concept of Language, New York: Springer-Verlag (1978).
- (4) 植野真臣, 松尾淳哉: 項目反応理論を用いて適応型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 D. Vol.98-D, 17-29, (2015)
- (5) F. Samejima, "Estimation of latent ability using a response pattern of graded scores," Psychometric Monograph, p. 17 (1969)

表 1 事前事後テストの結果(\*5%水準, \*\*1%水準)

	A 群	B 群	C 群	D 群	E 群	F 群
被験者数	14	16	18	15	12	18
事前テスト	1.14 (1.59)	1.69 (2.44)	1.78 (2.44)	1.33 (1.89)	2.17 (1.40)	2.72 (2.23)
事後テスト	35.4** (2.94)	34.8** (2.13)	40.0 (3.15)	36.5* (2.22)	34.8** (2.44)	30.9** (4.92)
記憶保持テスト	20.8 (2.73)	20.8 (2.27)	23.0 (2.18)	20.6 (1.81)	20.6 (1.81)	20.8 (5.41)
学習時間(分)	69(26)	78(28)	71(22)	67(15)	72(24)	64(24)