

Scaffolding を利用した確率学習支援システムの開発とその利用

石川優希^{†1} 平井佑樹^{†1} 金子敬一^{†1}

高等学校教育における数学科においては、教科の性質上、各科目の内容に関する事項の間には系統性がある。系統性がある科目に関して学習を行う場合、ある項目について学習するためには、それ以前に学習した内容について理解している必要がある。本研究では、高等学校数学科における確率学習を対象とし、現在学習している内容（確率）について支援を行う際に、それ以前の学習内容（場合の数）も含めた支援を行うことができるシステムを開発した。それ以前の学習内容の学習を支援するため、学習理論の1つである Scaffolding を利用した。ある学習者が確率について学習する際に、その学習者が場合の数について理解していないと判断した場合、場合の数について復習を行うことができるシステムを実現した。システム利用実験では、実験参加者を、Scaffolding を導入したシステムを使って学習する実験群と、Scaffolding を導入していないテキストを使って学習する統制群に分けて行い、試験成績の向上に差が見られるかどうか、またシステムの使いやすさについて検証した。検証の結果、試験成績の向上について有意差があるとは認められなかったが、システムの使いやすさは有意に高かったことが認められた。

Development of a Probability Learning Support System using Scaffolding and Its Application

YUKI ISHIKAWA^{†1} YUKI HIRAI^{†1} KEIICHI KANEKO^{†1}

A teacher usually proceeds with a talk systematically in Mathematics of a high-school curriculum. In case that a learner studies in a course such as Mathematics, if he/she has not mastered the learning materials so far, he/she may not be able to study the present learning content. In this research, we focused on the learning contents of 'probability' in Mathematics of Japanese high-school curriculum. We have developed the system which a learner can study the present and/or the precedent learning contents such as 'permutation' and 'combination'. Scaffolding, one of learning theories, is introduced in the system. Scaffolding situations are those in which the learner gets assistance or support to perform a task beyond his or her own reach if pursued independently when 'unassisted'. A pilot experiment has been carried out to evaluate the potential of the system. In the experiment, participants' learning performance and usability of the system were measured in terms of the examination scores and/or the questionnaire. The result of the conducted experiments indicated that usability of the system was significantly high.

1. はじめに

高等学校教育における数学科においては、教科の性質上、各科目の内容に関する事項の間には系統性がある[1]。系統性がある科目に関して学習を行う場合、ある項目について学習するためには、それ以前に学習した内容について理解している必要がある。たとえば、本稿で扱う「確率学習」の場合、高等学校学習指導要領[2]に記載されている確率を学習するためには、場合の数について理解している必要がある。このような系統性がある科目に関して学習することを本研究では系統学習と定義する。

系統学習について支援を行う場合、現在学習している内容について支援することは当然考えられるが、例えば、学習指導要領解説[1]では、「生徒の習熟度や実態及び学科の特色に応じた教育が一層進められるように、例えば、中学校数学の内容の習熟と高等学校数学への導入を目的とする科目（例：『高校数学入門』）を設けたり、大学との接続を考慮し高等学校数学の発展的・拡充的内容を取り扱う科目（例：『線形代数学入門』、『解析学入門』など）を設けたりすることが考えられる」としている。つまり、ある項目に関してそれ以前の学習を支援することと、それ以後の学習

を支援することが考えられる。本研究では、ある項目に関してそれ以前の学習を支援することに注目する。

一方、学習指導要領[2]では、「各科目の指導に当たっては、必要に応じて、コンピュータや情報通信ネットワークなどを適切に活用し、学習の効果を高めるようにすること」としているように、必要に応じて生徒が主体的にコンピュータや情報通信ネットワークなどを活用して学習に取り組むことができるようにすることも考えられる。このようにコンピュータを利用する学習が普及していく中で、数学に関して様々な学習支援システムが開発されている。たとえば、算数の文章題を対象とし、問題解決、問題生成、問題解説をする問題演習支援のために機能を提供したシステム[3]、算数の文章題を対象として、問題がどのような特徴を持った問題であるかを特徴付ける問題作成エディタを実現しているシステム[4]、学習者の理解度に従って、難易度順にやさしい形式から難しい形式の方程式を解けるようにするシステム[5]がある。このようなシステムでは現在学習している内容について支援をすることは可能だが、それ以前の学習内容を含めた支援は行われていない。この場合、それ以前の学習内容を理解していない学習者は、システムを有効に活用することができない。

本研究では、高等学校数学科における確率学習を対象と

^{†1} 東京農工大学工学部
Faculty of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology

し、現在学習している内容（確率）について支援を行う際に、それ以前の学習内容（場合の数）も含めた支援を行うことができるシステムを開発することを考えた。それ以前の学習内容も含めた支援を行うため、Scaffolding[6][7]を利用した。Scaffolding は「ある学習者がある課題に取り組むとき、その学習者が支援なしでは自身で課題を達成できない場合、課題達成に向けた支援を行う」とする学習理論の1つである。本研究では、ある学習者が確率について学習する際に、その学習者が場合の数について理解していないと判断した場合に、場合の数について復習を行うことができるシステムを実現した。

本稿では、Scaffolding を利用した確率学習支援システムの概要とその利用実験結果について述べる。以下、2章では本研究に関連する研究について述べ、3章で開発したシステムの概要を述べる。4章では、開発したシステムの利用実験について述べ、5章で実験結果およびシステム学習支援に関して検討を行い、6章で結論を述べる。

2. 関連研究

本章では、システム学習に関連する研究、確率学習に関する研究、Scaffolding に関する研究について述べ、本研究の位置づけを明確にする。

2.1 システム学習とその支援

システム学習は学習内容に系統性を持たせた教授的体質が強いもの[8]であり、広く子供を主体とした学習活動である問題解決学習[9]と対比する。システム学習では、知識・理解の習得をするように授業が生まれ、知識獲得のために教師説明に時間的なウエイトがかけられる。一方、問題解決学習では、知的な学習内容のおさえ方があらいため、知識・理解のための時間よりはむしろ問題を自分なりに考えることに時間がかけられる[8]。このため、システム学習を支援する環境等は知識の定着をはかるように工夫する必要がある。

本研究では、場合の数・確率に関する問題を利用して、場合の数・確率の学習の際に用いられる、用語の定義や場合の数・確率の算出手法等の知識の定着をはかる。

2.2 確率学習とその支援

筆者らが探す限り、確率学習に関連する実践例は多くない。タンジブルユーザインタフェースを用いて確率学習を支援している例[10]はあるが、文献[10]の研究ではタンジブルユーザインタフェースを利用することの利点について議論しているため、確率学習支援に関する議論は行われていない。

本研究では、場合の数・確率に関する知識の定着をはかることのできるシステムを開発し、そのシステムの利用実験を通して、確率学習支援に関して検討を行う。

2.3 Scaffolding とそれを利用した学習支援

Scaffolding という単語は Wood らの文献[6]で初めて用いられた。Wood らは、ある先生とある子供が一緒になって

第4 数学 A

2 内容

(1) 場合の数と確率

ア 場合の数

(ア) 数え上げの原則

(イ) 順列・組合せ

イ 確率

(ア) 確率とその基本的な法則

(イ) 独立な試行と確率

図1 本研究が対象とする学習の内容。文献[2]より抜粋。

Figure 1 Learning contents in this research.

木製のピラミッドパズルを完成させるために Scaffolding を用いたしている。その後、Scaffolding は「ある学習者がある課題に取り組むとき、その学習者が支援なしでは自身で課題を達成できない場合、課題達成に向けた支援を行う学習手法である」と理論化されている[7]。

コンピュータ利用をベースとした学習環境(CBLE)で Scaffolding を用いている実践例は多くあり[7, 11-19]、CBLE で Scaffolding を用いることの重要性を述べている。確率学習において Scaffolding を用いた例はない。

本研究では、確率学習において Scaffolding を利用した実践例を示し、確率学習支援やシステム学習支援について検討を行う。

3. Scaffolding を使用した確率学習支援

本章では、本研究で開発したシステムについて述べる。

3.1 対象

本研究では、高等学校学習指導要領[2]第2章第4節に記載されている数学Aの場合の数と確率に示されている部分を対象とした(図1)。高等学校数学では、他にも確率学習に関連する単元として条件付き確率、確率分布、統計処理がある。本研究では「確率」の基本を支援するものとし、条件付き確率等の応用的なものについては扱わないものとした。

3.2 Scaffolding の利用

システム学習において、ある問題につまずいてしまった場合、その問題のみの復習だけでなく、それ以前に学習した内容についても理解する必要がある。本研究では Scaffolding の理論に従い、確率に関する問題に対し、いくつかの質問を行い、学習者が順を追って理解できるようにシステムを設計する。システムでは、学習者が問題を解けなかった場合、問題を解くための足場(scaffold)となる質問を提示し、それに回答することによって、学習者が順を追って理解できるように支援する。

3.3 システムの実現

本システムは、HTML および Javascript を用いて実現し、Web ブラウザ上で動作する。数式の記述は Google Chart API を利用した。以下、本システムの機能等を説明する。

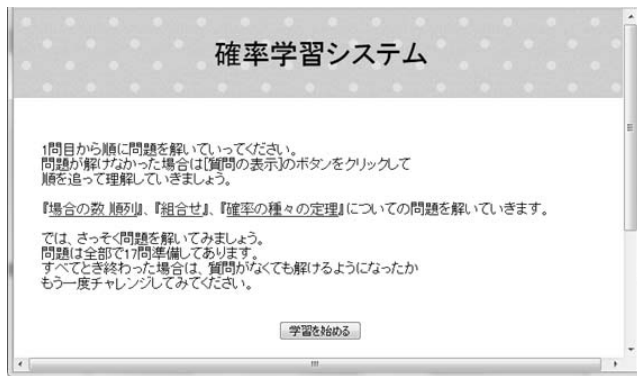


図2 トップページ

Figure 2 The top page of the system.



図6 質問の表示

Figure 6 A scaffold with respect to a question.

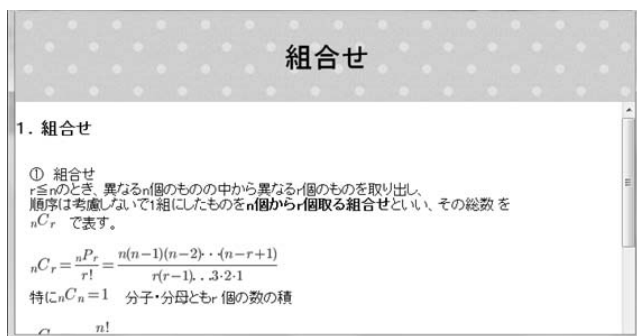


図3 「組合せ」をクリックした場合に表示される画面

Figure 3 The window with respect to 'Combination'.

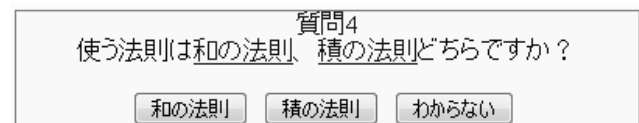


図7 リンクのついている質問

Figure 7 A scaffold containing hyperlinks.

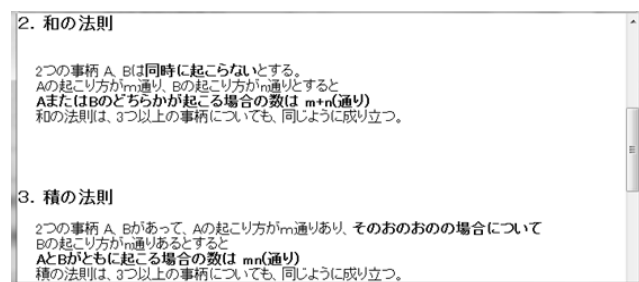


図8 用語の説明の表示

Figure 8 Explanations with respect to probability.



図4 学習画面

Figure 4 The window for probability learning.

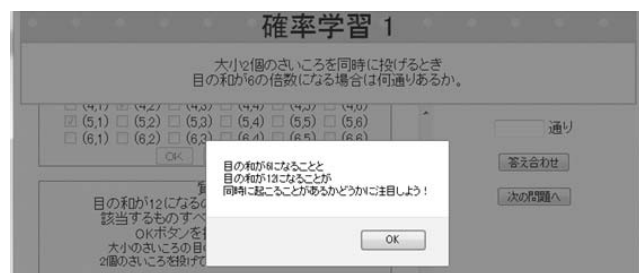


図9 ヒントの表示

Figure 9 The hint with respect to a scaffold.



図5 解答の正誤判定(左:正解,右:不正解)

Figure 5 Feedbacks to the correct answer (left) or the incorrect answer (right).

(1) トップページ

図2にシステムのトップページを示す。システムにおいて学習をする前に、図2中の「場合の数,数列」、「組合せ」、「確率の種々の定理」をクリックすると、別画面で言葉の意味や公式等を確認することができる。「組合せ」をクリックした場合に表示される画面を図3に示す。

(2) 学習画面

図2下部にある「学習を始める」ボタンをクリックする

と、図4に示す学習画面へ切り替わり、学習を開始する。画面上部()に確率に関する問題が提示され、学習者はこの問題に解答する。学習者は解答できる時点で解答欄()に解答することができる。解答入力後「答え合わせ」ボタンをクリックすると、図5に示すように入力した解答が正しいか否かが判定される。学習者は何度でも解答することができ、「現状では解答できない」と学習者が判断した場合は「質問の表示」ボタンをクリックすることで、問題に解答するための足場となる質問が表示される。「答え合わせ」ボタンの下にある「次の問題へ」ボタンをクリックすることで次の問題へ進むことができる。

(3) 質問機能

図4に示す「質問の表示」ボタンをクリックすることで、図6に示すように、問題に対する質問が表示される。表示された質問に正解すると次の質問が表示される。質問は問題ごとに複数あり、学習者が質問に最後まで答えると、質問の終了を示すメッセージが表示される。

質問の本文中に、図7に示すようにリンクがついているものがある。このリンクは、学習者が場合の数・確率に関する用語について知識がない場合の補助としてつけた。たとえば、図7の「和の法則」をクリックすると、図8に示すように別ウィンドウにその用語の説明が表示される。

表示された質問に正解した場合は次の質問が表示される。学習者が質問に対する答えを間違えた場合や「わからない」ボタンをクリックした場合は、図9に示すようにその質問に対するヒントが表示される。ヒントは答えを間違えた場合、「わからない」ボタンをクリックした場合ともに同じものが表示される。

質問機能を利用することで、学習者は、質問に正しく答えることで解答するためのヒントを得ることができる。質問がすべて終わる前に、学習者が問題に解答できなくなった場合は、質問に答えることをやめて、図4に示す解答欄に解答することも可能である。

4. 利用実験

本章では、本研究で開発したシステムを利用した実験およびその結果について述べる。本実験では、本研究で開発した Scaffolding を用いた学習支援システムで学習することと、参考書等の紙媒体を用いて学習することの比較を行う。比較の結果から、Scaffolding を用いた学習支援システムで学習することにどのような効果があるかを検証する。

4.1 実験設定

本実験は、香川高等専門学校情報工学科第2学年の学生46名を対象として実施した。この学生らは場合の数については既に第1学年で学習を終えているが、確率についてはまだ学習を始めていない。

実験は、Scaffolding を用いた学習支援システムを利用して学習する実験群23名と、テキストを利用して学習する統

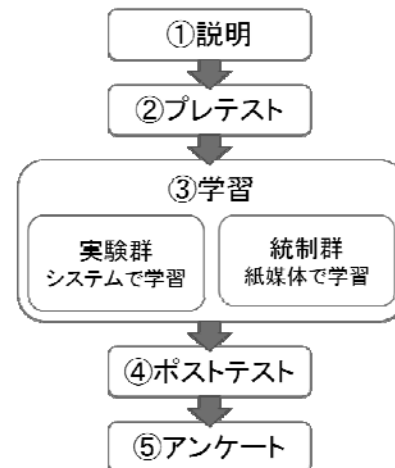


図10 実験プロセス

Figure 10 Procedure of the conducted experiment.

制群23名の2群に分けて実施した。実験群と統制群の分割は、実験を行う前に数学科の担当教員が行うように依頼した。その担当教員が、両群の成績分布がおおよそ等しくなるように、既に学習を終えている微分積分学Iの成績を基準に分割した。

分割後、図10に示す実験プロセスに従って実施した。しかし、実験当日に遅刻をした学生が2名いたため、その2名に関しては分析対象外とした。この結果、実験群21名、統制群23名となった。

(1) 説明(5分)

はじめに本実験の目的、実験の流れを説明した。また、その際にどちらの群で実験を行ってもらうかを学生に伝え、実験しやすくなるように、席の移動を行った。

(2) プレテスト(15分)

実験群、統制群ともに同じプレテストを受験した。プレテストの問題数は6問であり、「大小2個のさいころを同時に投げるとき目の和が6の倍数になる場合は何通りあるか」というような、知識の定着がはかれたことを確認する基本的な問題を出題した。途中の計算式については採点対象とせず、答えのみを採点対象とした。満点は6点である。後述のポストテストではプレテストと同じ問題を出題するため、この段階では問題の正しい答えは伝えていない。

(3) 学習(35分。最初の10分はシステムの操作説明)

実験群、統制群に分かれ、それぞれ学習を行ってもらった。学習時間は25分間とし、実験群は本研究で開発したシステムを利用して学習を行い、統制群では筆者らが準備したテキストを利用して学習を行うよう指示した。本実験において、システムには数学科の教科書に記載されている例題レベルに相当する問題17問を登録して、それぞれに問題番号(1~17)を振った。実験群には、問題番号1の問題から順に取り組みよう指示し、本研究で開発したシステムで表示されるウィンドウ以外のウィンドウは開かないように指示した。統制群が利用したテキストには、市販の参考書

表1 アンケート項目

Table 1 The questionnaire with respect to the experiment.

数学について	
Q1.1	数学は得意ですか？ (1: 得意, 2: やや得意, 3: やや不得意, 4: 不得意)
Q1.2	数学が好きですか？ (1: 好き, 2: やや好き, 3: やや嫌い, 4: 嫌い)
Q1.3	順列・組合せ・確率は得意ですか？ (1: 得意, 2: やや得意, 3: やや不得意, 4: 不得意)
Q1.4	順列・組合せ・確率は好きですか？ (1: 好き, 2: やや好き, 3: やや嫌い, 4: 嫌い)
モチベーションについて	
Q2.1	実験には意欲的に取り組みましたか？ (1: 取り組んだ, 2: どちらかといえば取り組んだ, 3: どちらかといえば取り組まなかった, 4: 取り組まなかった)
Q2.2	順列・組合せ・確率の学習を楽しく行うことができましたか？ (1: 行えた, 2: どちらかといえば行えた, 3: どちらかといえば行えなかった, 4: 行えなかった)
Q2.3	順列・組合せ・確率について興味を持ってましたか？ (1: もてた, 2: ややもてた, 3: あまりもてなかった, 4: 持てなかった)
学習内容について	
Q3.1	何問解くことができましたか？ (1: 0~4問, 2: 5~9問, 3: 10~14問, 4: 15問~)
Q3.2	全体的に解答した問題は難しく感じましたか？ (1: 簡単, 2: やや簡単, 3: やや難しい, 4: 難しい)
Q3.3	問題につまることはありましたか？ (1: 全くない, 2: あまりない, 3: ときどきあった, 4: よくあった)
システムについて	
Q4.1	システムの質問機能を有効に使用できましたか？ (1: できた, 2: ややできた, 3: あまりできなかった, 4: できなかった)
Q4.2	システムのヒントは分かりやすかったですか？ (1: 分かりやすい, 2: やや分かりやすい, 3: あまり分かりやすくない, 4: 分かりにくかった)
Q4.3	システムの画面は見やすかったですか？ (1: 見やすい, 2: やや見やすい, 3: あまり見やすくない, 4: 見にくかった)
Q4.4	システムを使ってみておもしろかったですか？ (1: おもしろい, 2: ややおもしろい, 3: あまりおもしろくない, 4: おもしろくない)
Q4.5	システムを今後も使用したいと思いませんか？ (1: 使用したい, 2: やや使用したい, 3: あまり使用したくない, 4: 使用したくない)
Q4.6	システムについて良かった点や悪かった点, 今後ほしい機能などがありましたら, 以下の枠に記述してください。 (自由記述)
実験全体について	
Q5.1	実験全体を通して, 感想や意見などがあれば以下の枠に記述してください。 (自由記述)

表2 プレテスト結果

Table 2 The result of the pre-test

		実験群	統制群
試験成績	0点	2人	2人
	1点	11人	14人
	2点	6人	5人
	3点	2人	1人
	4点	0人	1人
	5点	0人	0人
6点		0人	0人
平均点		1.38	1.35
標準偏差		0.79	0.87

表3 ポストテスト結果

Table 3 The result of the post-test

		実験群	統制群
試験成績	0点	0人	1人
	1点	4人	1人
	2点	7人	12人
	3点	5人	4人
	4点	4人	5人
	5点	1人	0人
6点		0人	0人
平均点		2.57	2.48
標準偏差		1.14	1.02

表4 各学習者に対する(ポストテスト得点 - プレテスト得点)の計算結果

Table 4 Calculation results of each learner's post-test score minus pre-test score.

		実験群	統制群
(ポストテスト得点 - プレテスト得点)の値	-1	1人	0人
	0	4人	7人
	1	7人	8人
	2	8人	6人
3		1人	2人
平均値		1.19	1.13
標準偏差		0.96	0.95

を参考にして, 筆者らがシステムに登録した問題と同じ問題について問題演習できるように設計し, 巻末にその解答と解説を載せた. 両群ともに, 周囲の学生と相談せず, 一人で学習するように指示した.

(4) ポストテスト(15分)

プレテストと同様の設定でポストテストを実施した.

(5) アンケート(5分~10分)

表 5 アンケート結果 (Q1.1~Q4.5)

Table 5 Results of Q1.1 to Q4.5 in the questionnaire.

	平均値		p 値
	実験群	統制群	
Q1.1	2.48 (0.85)	2.39 (0.77)	0.92
Q1.2	2.52 (0.73)	2.22 (0.88)	0.21
Q1.3	3.00 (0.44)	3.00 (0.78)	0.81
Q1.4	2.81 (0.66)	2.74 (0.79)	0.79
Q2.1	1.33 (0.56)	1.22 (0.41)	0.55
Q2.2	2.20 (0.73)	2.48 (0.88)	0.25
Q2.3	2.38 (0.90)	2.30 (0.95)	0.70
Q3.1	2.00 (0.62)	2.27 (0.81)	0.24
Q3.2	3.19 (0.59)	3.14 (0.62)	0.79
Q3.3	3.43 (0.49)	3.50 (0.58)	0.56
Q4.1	1.86 (0.89)	-	0.00 *
Q4.2	1.95 (0.72)	-	0.01 *
Q4.3	1.57 (0.58)	-	0.00 *
Q4.4	1.67 (0.78)	-	0.00 *
Q4.5	1.95 (0.58)	-	0.00 *

* 危険率 5% で有意

表 1 に示す内容でアンケートを実施した。Q4.1 から Q4.6 は実験群のみ回答するものとし、その他は両群ともに回答するよう依頼した。

4.2 実験結果

(1) プレテスト

表 2 にプレテストの結果を示す。実験群の平均点は 1.38 点、統制群の平均点は 1.35 点であった。Mann-Whitney の U 検定で両群の成績を比較したところ、有意水準 5% のもとで有意な差があるとは認められなかった ($U=228$, $p=0.72$)。これにより、プレテスト受験時点では、両群の成績分布はおおよそ等しいことを確認した。

(2) ポストテスト

表 3 にポストテストの結果を示す。実験群の平均点は 2.57 点、統制群の平均点は 2.48 点であった。Mann-Whitney の U 検定で両群の成績を比較したところ、有意水準 5% のもとで有意な差があるとは認められなかった ($U=236$, $p=0.89$)。これにより、ポストテスト受験時点では、両群の成績分布はおおよそ等しいことを確認した。

(3) プレテストからポストテストへの得点の上昇度合

各学習者において、(ポストテスト得点 - プレテスト得点) の計算結果を算出し表 4 にまとめた。実験群の平均上昇度合は 1.19 点、統制群の平均上昇度合は 1.13 点であった。Mann-Whitney の U 検定で両群の上昇度合を比較したところ、有意水準 5% のもとで有意な差があるとは認められなかった ($U=226$, $p=0.70$)。これにより、両群のプレテストからポストテストへの得点の上昇度合はおおよそ等し

いことを確認した。

(4) アンケート結果

表 5 にアンケートの Q1.1 から Q4.5 までの結果を示す。表 5 において平均値は各群の学習者が回答した 4 段階評価の平均値であり、括弧書きはその標準偏差である。Q1.1 ~ Q3.3 の p 値は Mann-Whitney の U 検定において 4.2 節(1) ~ (3)と同様の検定を行った時の有意確率である。Q4.1 ~ Q4.5 の p 値は実験群のアンケート回答から母平均を推定し、その結果が 2.5 ($= (4+1)/2$) と認められるかどうかを推定する母平均の検定を行った時の有意確率である。

Q1.1 ~ Q3.3 においては両群の平均値に有意な差があるとは認められなかった。Q4.1 ~ Q4.5 において、危険率 5% で有意と認められたことから、実験群の平均値は有意に 2.5 ではないことが認められた (つまり、平均値は 2.5 よりも 1 に近づいていることが認められた)。

Q4.6 では次の回答が得られた。

- 調べたいものがすぐにできるのは良い
- 質問で答えまでの流れをシステムが一緒に解いてくれるのが分かりやすかった
- 分からない時は順をおって説明してくれたり、間違っている時はヒントをくれたりと分かりやすかった
- 言葉の説明があつてよかった
- 「順列」などキーワードにリンクが作られていてわからなければすぐそこに飛べる機能は便利だった
- わかりやすかったので、確率以外も作ってほしい
- ヒントの数を増やしてほしい
- 公式の意味についてもっと解説があれば、頭にはいつてきて長期的に効果的な学習になると思う
- ヒントで良くわからないものがあつた。
- もう少し手順を踏んで理解させるようにするべき
- 最後に解答の解説を表示して欲しい
- 公式に関する質問をもっと分かりやすくしてほしい
- 文の意味がわかりづらかった
- イラストなどがあつたほうがよい。

Q5.1 において、実験群からは次の回答が得られた。

- 教科書を見るより好き。質問機能がとてもよかった
- 機能が増えればまた利用したい
- 順列、組合せの内容を忘れていたので、多少思い出せてよかった
- 学習する時間が少し足りなかった
- 分かりやすいシステムで復習ができてよかった
- 分かりやすかった。他の問題にもぜひ作ってほしい
- おもしろく体験できてよかった

5. 検討

本章では、4 章で得られた実験結果を踏まえ、確率学習や系統学習について検討する。

5.1 実験結果について

利用実験を行った結果、ポストテスト及び成績の上昇度合について比較したところ、両群に有意な差は認められなかった。この理由として、次の3点が考えられる。

(1) 学習時間が25分と短かった

アンケートのQ5.1では「学習する時間が少し足りなかった」と回答している学生もいることから、学習の時間が短かったと感じていることが分かる。また、Q3.1では実験群、統制群のどちらも5問~9問を選択している学生が多く、多くの問題を解けていないことが分かった。そのため知識が定着せず、システムと紙媒体のどちらを使用した場合も効果に差がでなかったと考えられる。

(2) 学習内容が多様であった

今回の実験での学習内容は「順列・組合せ・確率」について扱っていたが、「順列・組合せ・確率」の中にも、「和の法則」や「積の法則」を用いるもの、「円順列」、「じゅず順列」、「余事象」を用いるものなど内容は多様であった。今回は実験時間も短かったため、「和の法則」を用いるもの、「積の法則」を用いるものなどと分けて考えると、それぞれを繰り返し学習することはできなかった。そのため知識が定着しなかったと考えられる。その小さな括りに対しても学習を繰り返し行うことができれば、学習者に問題解決のプロセスが定着するのではないかと考えられる。

(3) システムの質問やヒントの設定に問題があった

実験群のみに回答してもらったQ4.6の中に「もう少し手順をふんで理解させるようにするべき」、「ヒントでよくわからないものがあった」といった意見があった。そのため、システムの質問やヒントの設定に問題があったと考えられる。「使用する公式がわからない」、「言葉の意味がわからない」など、学習者がつまづくポイントは様々である。そのため、質問の段階の設定をもっと細かくするべきだったのかもしれない。また、質問内の「順列・組合せ・確率」に関する用語にはリンクを付け、用語をすぐに確認できるようにしていたが、ヒント内の用語にはリンクがなかったため、そこにもリンクがあればもっと分かりやすいものになった可能性がある。

5.2 学習支援に向けて

アンケートでは、Q4.1~Q4.5において母平均の検定を行った結果、すべての項目について、結果の平均値はすべて1寄りであることが認められた。よって実験群の学生が本システムに好印象をもっていることがわかる。また、Q4.6の自由記述欄にも「わかりやすかったので、順列・組合せ・確率以外もぜひ作ってほしい」などの意見があった。

前節で述べたように本実験の学習時間は25分と短かったことから、両群に有意な差が認められなかったことが考えられる。一方、アンケートのQ1.1~Q3.3の結果から、両群の数学や学習に対する意識は、おおよそ等しいことが認められた。つまり、本システムを用いて学習した場合でも、

紙媒体で学習した場合と同様の効果が得られていると考えられる。その上で、実験群は、システムを利用して楽しく学習ができていたことが伺えた。

1週間や2週間にわたり、繰り返し学習を行った場合、知識がより定着し、効果に差が生じる可能性がある。これについては今後検討していきたい。

6. おわりに

本研究では、高等学校数学科における確率学習を対象とし、現在学習している内容（確率）について支援を行う際に、それ以前の学習内容（場合の数）も含めた支援を行うことができるシステムを開発した。それ以前の学習内容も含めた支援を行うため、Scaffoldingを利用した。

システム利用実験では、本研究で開発したScaffoldingを用いた学習支援システムで学習することと、参考書等の紙媒体を用いて学習することの比較を行う。比較の結果から、Scaffoldingを用いた学習支援システムで学習することによつたような効果があるかを検証した。検証の結果、両群のプレテストからポストテストへ向けての点数の上昇度合は、おおよそ等しいということが分かり、本システムを用いても教科書による学習と同様の効果が得られていることが分かった。システムの使いやすさについては肯定的な意見が多く、システムを利用して楽しく学習ができていたことが伺えた。

謝辞 本研究で実施した利用実験にご協力いただいた、香川高等専門学校詫間キャンパス第2学年の学生各位および数学科担当教員に感謝する。

参考文献

- 1) 文部科学省, 高等学校学習指導要領解説数学編 (2009).
- 2) 文部科学省, 高等学校学習指導要領 (2009).
- 3) 平嶋宗, 河野隆弘, 柏原昭博, 豊田順一: 算数の文章題を対象とした問題演習支援機能の実現, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J75-A, No. 2, pp. 296-304 (1992).
- 4) 小谷一夫, 数学中学事典, pp. 143-154, 数学研究社 (1999)
- 5) 宮地功, 板谷結美, 中嶋愛, 増地志保, 州脇史朗: 理解度に対応した一次方程式の学習支援システム, 電子情報通信学会技術報告 ET2003-40, pp. 7-12 (2003).
- 6) Wood, D., Bruner, J., and Ross, G.: The role of tutoring in problem solving, *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, Vol. 17, pp. 89-100 (1976).
- 7) Pea, R. D.: The Social and Technological Dimensions of Scaffolding and Related Theoretical Concepts for Learning, Education, and Human Activity, *Journal of the learning science*, Vol. 13, No. 3, pp. 423-451 (2004).
- 8) 川上昭吾, 神谷清助, 服部邦彦: 中学校理科の学習過程の比較研究 「電流」単元を例にして, 愛知教育大学教科教育センター研究報告, No. 5, pp. 257-268 (1981).
- 9) 日本教育工学会, 教育工学事典 (2000)
- 10) Schneider, B., Blikstein, P., Mackay, W.: Combinatorix: A Tangible User Interface that Supports Collaborative Learning of Probabilities, *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS)*, pp. 129-132 (2012)

- 11) Vye, N., Schwarz, D., Bransford, J., Zech, L., and CTGV: SMART Environments that Support Monitoring, Reflection, and Revision, *Metacognition in Educational Theory and Practice*, pp. 305-346 (1998).
- 12) Hannafin, M., Hill, J., and Land, S.: Student-centered Learning and Interactive Multimedia: Status, Issues, and Implication, *Contemporary Education*, Vol. 68, No. 2, pp. 94-99 (1999).
- 13) Lajoie, S. P., and Azevedo, R.: Cognitive Tools for Medical Informatics, *Computers as Cognitive Tools II: No More Walls: Theory Change, Paradigm Shifts and Their Influence on the Use of Computers for Instructional Purposes*, pp. 247-271 (2000).
- 14) White, B., Shimoda, T., and Frederiksen, J.: Facilitating Students' Inquiry Learning and Metacognitive Development through Modifiable Software Advisors, *Computers as Cognitive Tools Volume Two: No More Walls*, pp. 97-132 (2000).
- 15) Brush, T., and Saye, J.: The Use of Embedded Scaffolds with Hypermedia-supported Student-centered Learning, *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, Vol. 10, No. 4, pp. 333-356 (2001).
- 16) Hadwin, A., and Winne, P.: CoNoteS2: A Software Tool for Promoting Selfregulation, *Educational Research and Evaluation*, Vol. 7, No. 2/3, pp. 313-334 (2001).
- 17) Azevedo, R.: Beyond Intelligent Tutoring Systems: Computers as MetaCognitive Tools to Enhance Learning?, *Instructional Science*, Vol. 30, No. 1, pp. 31-45 (2002).
- 18) Baylor, A. L.: Agent-based Learning Environments for Investigating Teaching and Learning, *Journal of Educational Computing Research*, Vol. 26, No. 3, pp. 249-270 (2002).
- 19) Puntambekar, S., and Hubscher, R.: Tools for Scaffolding Students in a Complex Learning Environment: What Have We Gained and What Have We Missed?, *Educational Psychologist*, Vol. 40, No. 1, pp. 1-12 (2005).