

## 多桁減算の計算手順の組み立てを考えさせる 発見学習支援環境

松本 寿一<sup>†1</sup> 中易 秀敏<sup>†2</sup>  
森田 英嗣<sup>†3</sup> 亀島 鉦二<sup>†4</sup>

算数科多桁減算の学習において、馴染みのないものを学習者に与えて学習課題に深い理解を示すことが期待できる学習環境が、すでに著者らの教材ソフトウェアによって構築されている。この教材ソフトウェアでは、学習者が多桁減算の問題を作成すると、教材ソフトウェア上の仮想キャラクタが学習者にとって馴染みのない発想でその問題を解いて見せる。これまでの研究により、解法を受容する受動的な学習のみでは深い理解に至るには不十分であることが分かっている。このため、本論文では学習者が考える計算手順を自在に組み立て、試すことができるインタフェースを追加することが試みられている。提案するインタフェースにより、学習者が計算手順を組み立てると、仮想キャラクタがその手順に忠実な計算結果を再現し、自らの思考過程を自分自身で再認識することを実現している。また、時間軸に沿って記録された操作履歴によって、学習者が深い理解に至る過程の分析や、学習者の思考過程の追跡も検証されている。

### A Reflective Learning Environment Assisting Discovery by an Original Procedure in Place-value Subtraction

TOSHIKAZU MATSUMOTO,<sup>†1</sup> HIDETOSHI NAKAYASU,<sup>†2</sup> EIJI MORITA<sup>†3</sup>  
and KOHJI KAMEJIMA<sup>†4</sup>

An educational software that creates a learning environment, which gives unfamiliar procedure to students that has the potential of stimulating a keen interest is already being built by authors. When a student creates a problem in subtraction in this software, a virtual character in the educational software shows how to solve the problem with a concept unfamiliar to the student. As it has become evident from findings of previous studies that just showing how to solve problems was not enough for students to reach an in-depth understanding, we have attempted to add an interface that could build and test the concept of the students themselves in this paper. This suggested interface shows the virtual character that represents a solving process in line with the procedure constructed by student. In addition, It can surmise the characteristics of the process in which the student has reached an in-depth understanding and the student's thought process from the history of operation that is recorded along the time base.

#### 1. 緒 論

これまでに、学習者の計算力の強化や理解度向上を目指して学習者を支援する研究は、様々な方面から行

われ成果をあげてきた<sup>1)~3)</sup>。ところが、これらの研究にもかかわらず基礎的な計算問題も満足に解けない実態があり、学習者が問題の本質を理解することなく学習を進めてきたことが指摘されている<sup>4)</sup>。つまりこれは、学習者が本当に「分かる」とする定義が不明瞭であり、的確な指導がなされないまま学習が行われてきたためであると推測できる。すでに「分かる」という学習者の学習状態については、具体的に考えて実際の授業に活かすための研究が行われている<sup>5),6)</sup>。これらの研究により、「分かる」ということは、既知の分かっていたことを改めて再認識して深く理解することであり、問題について帰納的な取り組みや演繹的な説明を用いることができるとされている。このような考え方

†1 甲南大学文学部

Faculty of Letters, Konan University

†2 甲南大学ハイテク・リサーチ・センター

High Technology Research Center, Konan University

†3 大阪教育大学教育実践総合センター

Center for Applied Research in Education, Osaka Kyoiku University

†4 大阪工業大学工学部経営工学科

Department of Industrial Management, Osaka Institute of Technology

に沿って、反復練習による自動化されやすい計算手順の学習と並行して、その表現の方法や計算原理の存在を意識して考える学習態度を学習者が身につける重要性が指摘されている<sup>4)</sup>。

著者らは既報<sup>7)</sup>で、学習者が計算手順の正当性を理解することを目的とした、「馴染みのない発想から学ぶ」学習環境 (Learning Via an Unfamiliar Procedure, 以下 LVUP と称する) を試作し、研究授業を行った。これは、学習者に、3桁引く2桁のくり下がりのある多桁減算の筆算を、学習者にとって馴染みのない計算手順で解けることを見せ、それが成り立つ理由を考える機会を提供したものであった。多桁減算は、桁の概念、数の保存や足し算と引き算の両方が発生するなど適度に難しい課題であり、かつ、認知科学の分野において人の学習モデルの解明に用いられている例題でもあり<sup>8)</sup>、教育工学の分野において CAI システムの構築の可能性を探る研究によく引用されたモデルである<sup>9)</sup>。この学習環境に触れた学習者は、課題となる馴染みのないものを理解しようとするために、既知の考え方を演繹的に説明する必要が生じ、これにより、計算する方法の意味を改めて意識することが期待されるのである。ところが、この試みで対象とした小学5年生は、LVUP 学習環境で示した内容を再現することはできても、それを明確に説明することは容易ではなかった<sup>7)</sup>。多桁減算は5年生になるとすでに学び終えているために、学習者に新しく知った多桁減算の計算手順の過程を自分で説明することを期待したが、そうはならなかったのである。

この結果に著者らは、学習者が計算する方法の意味を意識するためには、学習者が計算手順の違いを具体的に考えるための支援の必要性を痛切に感じた。学習者が様々な計算手順を具体的に試して考えるような帰納的な取り組みを行うことができれば、そこに共通した考え方があることを自ら発見する可能性が生じる。さらに、計算手順が成り立つ意味を一般化して説明することができる演繹的な考え方に至ることにより、学習者は計算への理解を深めることが期待できる。このような支援のために著者らは、学習者が自ら考える計算手順を自由に組み立て、それを試すことができるインタフェースを考案した。これは、学習者が馴染みのない計算手順を実行するために必要な操作を1つずつ組み立てると、計算機がそれに従って問題を解く様子を見せるものである。本論文では、学習者が計算手順の正当性を考えることから算数への理解を深めることを目的としたインタフェースの構築方法と、それを用いた研究授業の結果を述べる。そして、これを利用し

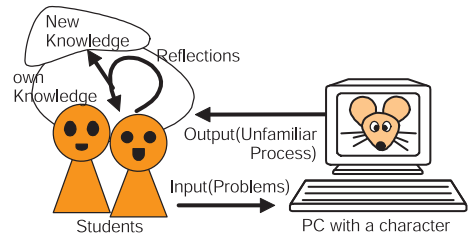


図1 LVUP 学習環境の学習課程

Fig. 1 A learning process with LVUP.

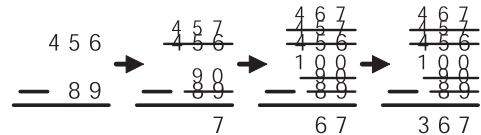


図2 仮想キャラクタの計算手順例

Fig. 2 An example of calculation procedure.

た学習環境から学習者の考え方を抽出し、LVUP 学習環境の学習効果を改めて示す。

## 2. 教材インタフェースの構築

### 2.1 PCI の位置づけ

図1に示すLVUP 学習環境では、次の(1)から(3)の順に従い、PC (Personal Computer) が学習者から問題の入力を受け、それを学習者に馴染みのない計算手順を用いて正解できることを見せる。

- (1) 学習者がPCに問題を入力する。
- (2) 馴染みのない計算手順で問題が解かれることを観察する。
- (3) 上記(1)から(2)を繰り返す。

ここで用いる計算手順は、筆者らが考案した図2のようなものである。これは、各位の引き算の際に、減数が0になる数を減数と被減数の両方に加算して答えを求める方法である。図2の例では、1の位において被減数6から減数9が引けないために、減数がくり上がって10になる数「1」を減数と被減数に加算する。すると、問題が「457-90」になり、1の位の答え「7」が導き出される。

既報<sup>7)</sup>の結果では、学習者が馴染みのない計算手順を使うことができて、その意味を明確に説明することはできなかった。この原因には、問題を作るだけのインタフェースでは学習者の思考を促進させるための十分な支援にならず、問題を解く手順に関する帰納的な取り組みも必要であったと考えられる。そのため、より学習者の思考を支援するインタフェースとして、自らの考える計算手順を具体的に表現し、それを検証することができる機能 (Procedure Constructive In-

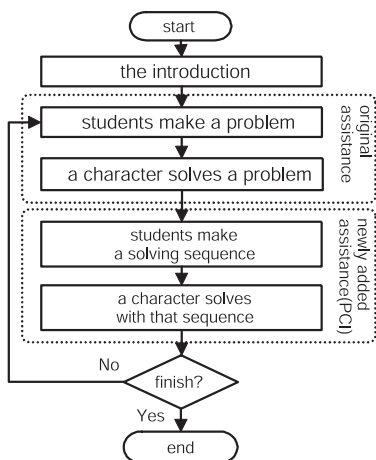


図3 教材ソフトウェアの全体構成

Fig. 3 A flow chart of an educational software.

terface, 以下 PCI と称する) を LVUP 学習環境に追加した。これにより, 学習者は前述の (1), (2) の取り組みに加えて, 以下の (3), (4) の取り組みを行う。

- (1) 学習者が PC に問題を入力する。
- (2) 馴染みのない計算手順で問題が解かれることを観察する。
- (3) 予想される計算手順を, PC 上に組み立てる。
- (4) PC による解法を観察する。
- (5) 上記 (1) から (4) を繰り返す。

教材ソフトウェア全体の構成は図 3 のようになる。学習者は, 教材ソフトウェア上の仮想キャラクタとの対話の中で次のような体験をすることになる。

- (1) 学習者は引き算の問題を仮想キャラクタに与え, 仮想キャラクタがその問題を解く過程を観察する (original assistance)。
- (2) 学習者は自分で与えた問題を解くための手順を作り, 仮想キャラクタがその手順に従って問題を解く過程を観察する (PCI)。

### 2.2 PCI の設計

PCI は, 学習者が考えた計算手順を PC 上で表現し, 検証することができるインタフェースである。学習者は答えを出すために必要な項目を選び, 自分の計算手順を作ることができる。作られた計算手順は, その内容に従って実行され, その過程をすべて学習者に見せるようになっている。選択される項目はあらかじめ決められているために, 以下の効果が期待できる。

- (1) PC が作られた計算手順を実行できる。
- (2) 学習者に計算手順の方向付けを暗示できる。
- (3) 操作履歴により学習者の思考過程を抽出し, 学習効果の判断材料にできる。

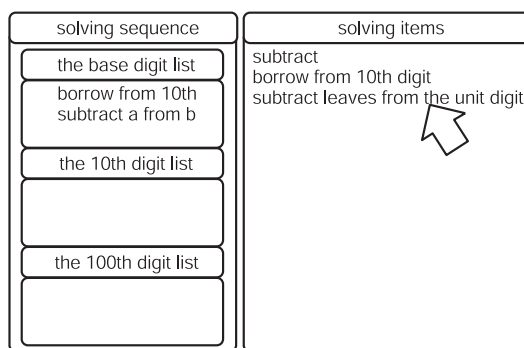


図 4 項目を選択する画面

Fig. 4 A screen shot of a selecting item.

表 1 計算手順の構築に用いる項目

Table 1 The items for Procedure Constructive Interface.

item number	explanation of calculation procedure
0	上の数から下の数を引く
1	上のくらいから 1 をかりる
2	かりた数から下の数を引く
3	計算したのこりと上の数を足す
4	下の数が 0 になる数を上に足す
5	下の数が 0 になる数を下に足す
6	大きい数から小さい数を引く
7	上の数を答えにする

PCI 部の画面構成を, 図 4 に示す。学習者は, 図中右の項目が並ぶ solving items から実行して答えが出るために必要とする項目を選び, 図中左の solving sequence の各位ごとに順を追って配置する作業を行う。研究授業で用意した選択肢の項目は表 1 に示す 8 項目である。この項目からは, 学習者がすでに学んだ既知の計算手順と, 図 2 に示した馴染みのない計算手順の両方を作ることが可能である。実際の操作は, 学習者がマウスのクリックによって位ごとに必要な内容を項目の中から 1 個または複数個を選び出すことになる。この時点での画面の変化は, 選択された項目が solving items から solving sequence へと移動されるだけである。そのため, これらの作成作業はすべて学習者が計算の過程を予想しながら行うことになる。

また, 前述の PCI の効果 (3) にあげた操作履歴は, 学習者が項目を選ぶ過程の記録を指している。記録には, 時間とともに項目の移動や取り消しという, 学習者のすべての試行が記される。

### 3. 試作教材ソフトウェアによる研究授業

#### 3.1 教材ソフトウェアの作成

PCI の効果を検証するために, 図 3 で示した構成に従った教材ソフトウェアを PC 上に開発した。図 5



図5 問題入力の一場面

Fig. 5 A screen shot of LVUP software 1.

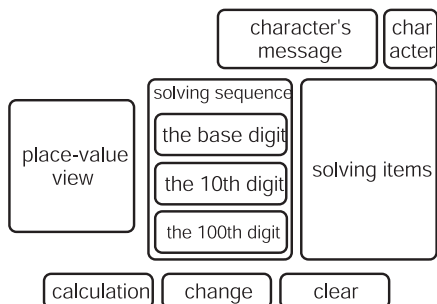


図6 計算手順を作る場面の配置

Fig. 6 A layout of a solving rule term.

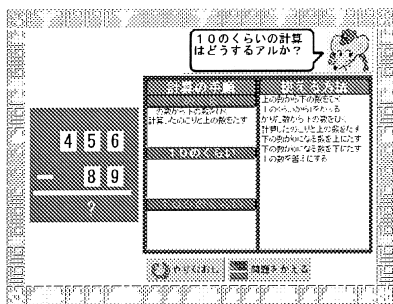


図7 計算手順作成の一場面

Fig. 7 A screen shot of LVUP software 2.

は学習者が問題を入力する場面であり、PCIを図6に示す形で教材ソフトウェアに組み込み、実際には図7のような画面で学習を行うようにした。

この教材では、学習者は教材ソフトウェア上の仮想キャラクタとの対話によって学習を始めることになる。学習者は導入部を経た後、仮想キャラクタに3桁引く2桁の多桁減算を出題する(図5)。問題を作り終わると、次に仮想キャラクタがその問題を図2で示した馴染みのない計算手順を用いて解く。

その後、学習者は仮想キャラクタに画面上で行われた計算手順の理解を問われ、説明できるならばPCIへ移行し(図7)、できないならば新たな問題を作って仮想キャラクタの計算手順を再度観察することになる。

### 3.2 研究授業の実施

試作したPCIを組み込んだ教材ソフトウェアを用

表2 正解計算手順を発見するまでの所要時間

Table 2 A duration time of found the correct solving sequence.

	A class (h:m:s)	B class (h:m:s)
fast	0:05:33	0:07:14
slow	0:36:04	0:42:02
average	0:22:09	0:22:38

いた研究授業を、大阪府内の公立小学校で行った。対象となった学習者は、小学6年生の2クラス(Aクラスは30名、Bクラスは32名)である。授業は、別々の時間に約1時間30分ずつ行った。使用した教室は、20台のPCが壁に沿って設置された視聴覚教室である。学習者がPCを使用する際には班に分かれ、班ごとに1台の割当てで使用することにした。そして、Aクラスは2人に1台の使用で15班、Bクラスは3人に1台の使用で11班に分かれて行った。授業は、次の手順で進められた。


- (1) 筆者らの自己紹介(5分)。
  - (2) 授業内容の説明と学習課題の提示(5分)。
  - (3) 教材ソフトウェアの操作説明(10分)。
  - (4) 教材ソフトウェアへの取り組み(60分)。
  - (5) 学習者同士の意見交換とまとめ(10分)。
- (5)は教材ソフトウェアの使用をやめて、普段とは異なる授業を受けた学習者たちが学び考えたことについて、話し合いからさらに熟考するための時間である。個人で体験し得たものを、クラス全員が得たものとする意図もある。

研究授業の結果は、両クラスともに学習者が積極的に取り組み、集中した時間にすることができた。授業時間が2時限分もあるために途中で集中力が散漫になることも予想されたが、それに反した結果を得ることができた。加えて、授業の半ばにとった休憩や授業後になっても教材への取り組みをやめない学習者もいた。学習者は、平均して10問前後の出題とその計算手順の作成を行い、1問につきAクラスは平均6分32秒、Bクラスは平均6分20秒の時間を要していることが分かった。多くの学習者にとって、筆者らが用意した新しい計算手順は2~3問の出題で理解できるものであったが、表2に示すように、それに要した時間は速い班で約5分半、遅い班で約42分、平均が約22分半と大きな差があった。

## 4. 考 察

### 4.1 アンケート調査からの評価

研究授業では、2種類のアンケート調査を行った。この結果と記録された操作に要した時間に注目し、学



チューカと同じ方法を使おう  
なまえ \_\_\_\_\_

1. チューカと同じ方法を使って、下の問題の答えを書いてください。ただし、チューカにお願したら、減点します。

134
573
231  
— 18
— 92
— 68

2. 「573-92=」の問題を、チューカと同じ方法を使ってとく時の手順を、わかりやすく文章で書いてください。

図8 配布アンケート1  
Fig.8 A questionnaire 1.


チューカは何を考えているのでしょうか  
なまえ \_\_\_\_\_

1. 下の文章の空白になっているところに入る文章を考えて、全体を完成させてください。

(文章)

日本の小学校では、「くり下がりのある引き算」をとく時は、  
 \_\_\_\_\_  
 から  
 \_\_\_\_\_  
 をかりてくる方法を使っています。

チューカが、「くり下がりのある引き算」をとく時は、  
 \_\_\_\_\_  
 を  
 \_\_\_\_\_  
 になす方法を使っています。

2. チューカへの質問など、自由に書いてください。

図9 配布アンケート2  
Fig.9 A questionnaire 2.

習者にとっての学習の意味や学習効果の評価を行う。

2種類のアンケートのうち、図8に示すアンケート1は、授業中に班員全員が仮想キャラクタの計算手順を分かったと挙手した班に配布して回収したもので、計算手順の真似の程度を調べた。ここでは、筆算の問題(134-18, 573-92, 231-68, の3問)を仮想キャラクタが用いる計算手順で解くことと、その時点での理解度を知るために、出題したうちの指定した1題(573-92)の詳細な解き方を記述させた。図9に示すもう1つのアンケート2は、学習者同士の意見交換の前に配布して回収した。この中では、通常用いる計算手順と仮想キャラクタが使う計算手順の説明を虫食い問題にして、学習者が理解した内容を一般化して記述させた。また、研究授業への感想の欄も設けた。

まず初めに、2つのクラスから得られたアンケートを1つの結果として扱い得るか否かを検討する。そのために、結果を点数にして分散が等しいかどうかを有意水準5%でF分布による両側検定を行った。アンケートの点数化は、アンケート1および2とも、問題1の解答に対して解を得点化した。検定では帰無仮説を  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  とし、対立仮説を  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  とした。 $\sigma_1^2$  と  $\sigma_2^2$  は、Aクラスのアンケート28件とBクラスのアンケート23件の得点の分散を表す。これより  $F = 0.92$  であり、 $\alpha = 0.025$  に対する自由度(27,22)のF分布の棄却域は  $F_{0.025}(27, 22) > 2.10$  となり、 $H_0$  は採択された。この結果より、アンケー

表3 ランク分けの判断基準  
Table 3 A standard division of questionnaire.

rank	division
I	すべての記述が正しいもの。
II	アンケート1の計算の表記が不十分なもの。
III	アンケート1の説明の内容が不十分なもの。
IV	アンケート2の記述が不十分なもの。

トは以後まとめて扱うことにする。

次に、2種類のアンケートのすべての質問項目に答えたものに対し、理解度別にランク分けをした。この際に使用した判断基準は表3のとおりである。ランクIに該当する学習者は、その記述が十分に満足できるものであることを示す。ランクIIに該当する学習者は、考え方は正しく理解しているが、筆算の記述が正しく行われていないものである。ランクIIIに該当する学習者は、考え方を正しく説明することはできないが、今回使用した計算手順を模倣することができているものである。そしてランクIVの学習者は、計算手順の模倣ができない、または若干の理解の不備があるものである。この基準に従った集計結果を表4に示す。

この結果、計算手順の理由を正しく説明することができていることを示すランクIの学習者は20%であった。また、ほぼ理解できていることを示すランクIIの学習者を含めると約62%の学習者が理解を深めたことが分かった。既報<sup>7)</sup>では正しく説明する学習者が皆無

表4 アンケートによる総合評価  
Table 4 A result of questionnaire 1 and 2.

rank	number
I	11
II	23
III	11
IV	10
sum	55
rate of rank I	20.0%
rate of rank I and II	61.8%
rate of rank I, II and III	81.8%

だったことを考慮すると、本研究で導入した PCI の効果は十分あると判断できる。既報の学習環境に

- (1) 問題を解く手順を入力する、
- (2) 入力された手順に従って問題が解かれる様子を観察する、

という状況を持たせることにより、学習者にとっては、教材ソフトウェアが学習者の自由な実験場として利用できるものになった。このことが、学習者が課題に具体的に取り組めることになり、より学習意欲を沸き立たせやすい状況を生み、既報よりも良い結果を得られたと考える。

しかし一方で、20%近い学習者が計算手順の再現ができる段階にも至っていない結果もある。この原因には、教材ソフトウェアの面と学習者の面の2つが考えられる。教材ソフトウェアの面では、学習者に提示する言葉や操作環境が問われる。表示される言葉が学習者にとって容易に理解できない場面があれば、それは理解の妨げになる。研究授業の中で、PCI で使用した選択肢の言葉の意味を理解するために時間を要する学習者がいた。一方、学習者の面では、真剣に課題に取り組むことやアンケートへの記述をおろそかにしたことなどが考えられる。また、馴染みのないものを理解しようとする姿勢が弱い場合には、このような学習課題を理解することに抵抗を感じる学習者もいると考えられる。既報ではこのような抵抗を態度で示す学習者がいたが、今回はそれを明確に示す者は見られなかった。

#### 4.2 操作履歴より推測される思考過程

PCI の操作履歴は、記録時刻と操作内容が対で得られる。データの内容は、「1 の位の手順—10 の位の手順—100 の位の手順—行動」として表記している。各位の「手順」は表1の項目番号が1つ以上連なったもので構成されている。表記の最後にある「行動」は、作った手順を試した場合に「T (try)」を記し、途中でやめた場合には「R (reset)」を記している。図2の問題「456 - 89」の解の一例を示すと、馴染みのな

表5 手順の組み立て戦略例1 (ランクII, A クラス19 班)  
Table 5 A constructive strategy1 (rankII, A class-19).

a problem by student	patterns	duration time (h:m:s)
555 - 77	4-4-0-T	0:14:02
	5-5-0-T	
	4-5-0-T	
	45-45-0-T	
	450-450-0-T	

表6 手順の組み立て戦略例2 (ランクIII, B クラス3 班)  
Table 6 A constructive strategy2 (rankIII, B class-3).

a problem by student	patterns	duration time (h:m:s)
777 - 97	0-4-R	0:06:16
	0-47-0-T	
	0-457-0-T	
987 - 98	547-7-0-T	0:12:32
	547-7-0-T	
	540-7-0-T	
	450-0-0-T	

い計算手順では表1より、「4. 下の数が0になる数を上に足し、5. 下の数が0になる数を下に足し、0. 上の数から下の数を引く…」となるので、「450-450-0-T」と表される。一般的な計算手順では、同じく「1. 上の数から1をかり、2. かりた数から下の数を引き、3. 計算したのこりと上の数を足す…」となるので、「123-123-0-T」という手順になる。

この記録された計算手順は、学習者の思考過程を追跡する手がかりである。学習者によっては、成否にかかわらず1つの問題に対して1つの計算手順しか作らない場面もあれば、何度も作り直す場面も見られる。そして、ここから学習者の計算手順作成に関する戦略も現れてくる。たとえば、表5はある班の学習開始から10分を過ぎたあたりの出題3つ目の記録である。作った問題「555 - 77」に対して5回の取り組みをしており、選別した項目を試しながら着実に組み上げる様子が分かる。この班では、約14分かけたこの取り組みによって正しい手順を組み上げることができた。よって、答えにたどり着くまでに要した時間は合計で約24分になる。また、表6のデータは別の班のものである。この班では、学習開始後14分あたりで正解を組み上げ(表中の上から3パターン目)、その後新たな問題を入力して、自分たちが見つけた手順の検証を行っていることが分かる。答えを得ても別の計算手順を探す学習者の行動は、LVUP 学習環境が効果的であることを示す一因だと考える。

これらの記録されたデータから推測した学習者の思考過程には、答えを求めするための戦略として、大きく



分けて以下の3つのパターンがあることが分かった。

- (1) 「使用する選択項目を選別」「個々の選択項目を試す」「正解を作る」
- (2) 「無作為に選択項目を使用」「徐々に使用する選択項目を選別」「正解を作る」
- (3) 「無作為に選択項目を使用」「突然、正解を作る」

(1)のパターンは、合理的で理解しやすい思考過程である。

(2)のパターンは、無作為の状態から(1)のパターンへ移行するものである。学習が進むことで現れる標準的なものであると考える。作り始めは無作為であっても、いくつかの問題に取り組むうちにその意味や使い方が分かり始め、次第に作り方が変化するのである。

(3)のパターンは、判断が難しい思考過程を含んでいる。学習の経過とともに学習者の内省が活発になることで、「ひらめき」によって答えを作った結果ととらえることができるし、他力によって作られた答えであるともとらえることができる。よって(3)のパターンのみでは、操作履歴から学習者の思考過程を導き出すことは困難であり、学習者の発話記録と組み合わせる必要がある。

これらのパターンの平均出現回数を表4でまとめたランクごとに集計すると、表7になる。ランクIIとランクIIIの班では、無作為から選別へと変化する(2)のパターンと、思考の把握が難しい(3)のパターンが半々に見られ、ランクの内容に大きな差がないと考えられる。しかし、ランクIの班では、初めから選別して計算手順を組み立てる(1)のパターンが多く記録されていたことが分かった。このことから、ランクIのように高い理解ができるためには、学習者自身が事前に自分の考え方を省みて狙いをつける力が必要であると思われる。そして教材ソフトウェアには、十分に自分の考え方を省みられない学習者を支援する方法が必要である。

今回のPCIでは、学習者が考える計算手順の組み立てを、あらかじめ用意した項目から選択する方式を用いた。この場合、学習者の計算手順と用意した項目の内容が一致しないことや、項目の内容が学習者の思考範囲を狭める可能性がある。そのために著者らは、教材ソフトウェアによって記録されたデータのみで評価を行うことはせず、可能な限り実際の学習者の様子を観察し、データと照らし合わせることで、より確かな学習者の思考状態を把握し評価できる工夫を行っている。

表7 パターンの平均出現回数

Table 7 An average of patterns.

rank	number	pattern1	pattern2	pattern3
I	11	54.5%	36.4%	9.1%
II	23	8.7%	39.1%	52.2%
III	11	0.0%	54.5%	45.5%

### 4.3 学習者からの評価

研究授業では、3.2節の時間割(5)で示したように、授業の終わりに学習者が研究授業の内容について意見交換をする時間を10分程度設けた。この時間は、LVUP学習環境の利用をやめて学習者全員が教室の中央に集まるようにして授業を続けた。そして、学習者には以下の3つの点について手をあげて自分なりに理解した授業の内容を話してもらうことにした。

- (1) 自分たちが学んだ計算はどのようなものであったのか？
- (2) 今日学んだ計算はどのようなものであったのか？
- (3) 今日学んだ計算はどうして正しい答えが出せるのか？

意見交換において、著者らは学習者の意見を聞く立場に立ち、直接答えになるような発言は行わないように注意した。これは、計算手順を作って試すという間接的な理解への支援をする学習環境の中で、学習者がどのような形で理解したのかを知るためである。

この結果、(1)については「上の数から1を借りてくる」という意見に対して、「上の数から10を借りてくる」という意見が出た。さらに、「1も10もどちらも同じこと」という意見が出た。(2)については、「非減数がくり上がる数を、非減数と減数の両方に足す」という考え方を黒板を使って明確に話す学習者がいた。そして(3)については、「同じ数を足しても引いても答えは同じになる」という意見が発せられた。研究授業で示した計算手続きでは加算を用いているが、学習者側は、加算でも減算でも同じ答えを得られることを意識している様子が見られた。

以上のことから、PCIを含めたLVUP学習環境は学習者が馴染みのない計算手順を理解するために利用可能な道具であり、かつそれによって学習者自身が計算の表現を広げて多桁減算への理解を深めることができたといえる。

また、ほかにも本研究によって学習者が多桁減算を深く考えている一例がある。Bクラスのある学習者が教材ソフトウェアを使い始めて40分くらい経ったとき、教材ソフトウェアが応じきれない新しい計算手順を発見した。これは、引き算でくり下がりが起きる場合に、減数を一律100にくり上げしてしまう手順であ

る。この学習者の場合、くり上げの計算が必要になっても、減数が100になることで計算が大幅に簡略化されることが重要であったと考えられる。

## 5. 結 論

PCI が提供する選択による計算手順の作成は、学習者の課題に関する試行錯誤を十分に表し、評価できることが分かった。そして、学習者に自己の計算に関する思考過程を省みるきっかけやその意味を試しながら考える場になっていることも分かった。あらかじめ指定された選択項目によって学習者の思考を制限している点は改善の余地があるが、実際の授業では教師によって柔軟に対応可能な点であると思われる。本論文で得られた成果を要約すると、以下ようになる。

- (1) PCIの導入により、学習者が具体的な経験を経て計算への理解を深める学習環境を構築することができた。
- (2) PCIで学習者の考え方を選択肢から組み立てる方式を導入することにより、学習者の意図を記録し、教材ソフトウェアの評価に活かせるデータを得ることができた。

謝辞 本研究の一部は、甲南学園平生太郎基金科学研究奨励助成金、ならびに文部省科学研究費基盤研究(C)による経済的援助を受けたことを付記して、謝意を表する。

## 参 考 文 献

- 1) 岩田昌樹ほか：パソコンを利用した個別学習，日本数学教育学会誌，算数教育 42-4，第 75 巻，第 8 号，pp.196-200 (1993).
- 2) 植竹恒男：算数・数学科における学習用ソフトウェアとその活用に関する研究，日本数学教育学会誌，算数教育 43-4，第 76 巻，第 8 号，pp.204-44 (1994).
- 3) 中野 明，平嶋 宗，竹内 章：「問題を作ることによる学習」の知的支援環境，電子情報通信学会論文誌，Vol.J83-D-I，No.6，pp.539-549 (2000).
- 4) 森田英嗣：問題を素早く正確に解かせるということ，Vol.3，大阪書籍 (1996).
- 5) 片桐重男：数学的な考え方の具体化，明治図書 (1988).
- 6) 佐伯 胖：「わかる」ということの意味，岩波書店 (1995).
- 7) 松本寿一，中易秀敏，森田英嗣，亀島鉦二：教育支援のための教材学習履歴分析システム，情報処理学会論文誌，Vol.40，No.9，pp.3596-3607 (1999).
- 8) 西田正吾：メディア工学，朝倉書店 (1996).
- 9) Vanlehn, K.: *MIND BUGS*, The MIT Press (1990).

(平成 13 年 11 月 12 日受付)

(平成 14 年 10 月 7 日採録)



松本 寿一 (正会員)

1971 年生。2001 年甲南大学自然科学研究科情報・システム科学専攻博士後期課程修了。学校教育におけるコンピュータを活用した授業設計に関心を持ち、小学校でのコンピュータを利用した授業の補助に参加。



中易 秀敏 (正会員)

1950 年生。1980 年大阪府立大学大学院工学研究科経営工学専攻博士課程修了。金沢工業大学工学部教授，大阪工業大学工学部教授を経て甲南大学理工学部教授，同大学ハイテク・リサーチ・センター (兼任)。知的システム設計の研究に従事，工学博士。IEEE，日本機械学会，人工知能学会，ヒューマンインタフェース学会等の会員。



森田 英嗣

1960 年生。1987 年千葉大学大学院教育学研究科修士課程修了，大阪大学人間科学部技官，大阪大学大学院人間科学研究科博士後期課程を経て，大阪教育大学教育学部助教授。教育工学・教育方法学の研究に従事，特に実践教育に関心を持つ。日本教育工学会，教育方法学会，American Educational Research Association 等の会員。



亀島 鉦二 (正会員)

1949 年生。1973 年京都工芸繊維大学工芸学研究科修士課程修了。同年 (株) 日立製作所中央研究所入社。同社機械研究所主任研究員を経て，1994 年大阪工業大学工学部教授。機械システムならびに協働情報システムの制御に関する研究に従事。工学博士。SIAM，IEEE，計測自動制御学会，日本機械学会等の会員。