

論文の要旨

題目 数式の構造的理解の促進を指向した作問学習システムの設計・開発と実践的利用
(Design, Development and Practical Use of Problem-Posing Systems Promoting Structural Understanding for Arithmetic and Mathematics Expressions)

氏名 榎本 浩義

情報工学の技術を用いて、学習活動を計算機により支援する取り組みは1970年代から始まり、現在も活発な研究が行われている研究分野である。中でも人工知能からの取り組みは早くから注目されており、機械学習等の統計的な人工知能を用いるアプローチと、知識工学等の記号的な人工知能を用いるアプローチがある。後者のアプローチは、教材の意味的構造の学習者による理解を重視し、その理解を促進する上で、その構造を計算機処理できるようにするための記号的記述を試みるものである。本研究は、後者のアプローチに基づき、算数や数学の数式を構造として理解させるために、要求に応じた数式を作る作問学習を、学習者に組み立てさせる再構成法を用いて実現したものとなる。再構成法を用いた作問学習はこれまでも算数や数学の文章題を中心として活発な研究が行われ、学習効果も確認されている。本研究では、算数や数学の数式においてもその構造が重要であり、数式の深い理解のためには、数式を計算手続きでなく構造的に捉えることが必要になると考えた。数式の作問を行うことは、数式を構造的に捉えて再構成することといえるので、数式の構造的な理解の促進につながると考えられるが、算数・数学における数式を対象とした作問学習環境のシステム化、教育現場での実践的利用はこれまで行われていなかった。

数学導入段階で重要とされる文字式では、学習困難が多くみられ、算数から数学への接続ギャップが指摘されている。文字式の学習が難しい理由のひとつは、算数と数学とで、数式の読み取り方が、計算手続きとしての読み取りから数量関係の読み取りへと変わることである。数式を数量関係として読み取るには、数式の構造的理解が求められるといえるが、算数では多くの場合数式は計算手続きとして教えられており、構造に基づく理解にはつながりにくかったといえる。ただし算数の計算問題でも、工夫計算という単位では、数式を構造的に捉えて、計算しやすくする工夫が求められている。工夫計算の指導はいくつかの実践例が報告されており、一定の学習効果がみられているが、指導上の問題点として、工夫すれば容易に解ける問題でも工夫せずに解いてしまうこと、抽象的な方略指導では工夫して計算することができない学習者が多いことが指摘されている。

因数分解は数学の基本的な学習課題とされているが、学習困難を生じている学習課題であることも指摘されている。因数分解の学習上の難しさとして指摘されていることのひとつは、公式が使い分けられないことであるが、因数分解の公式は因数分解の解法といえるので、公式の使い分けの難しさは、解法同定の難しさといえる。解法同定過程の習熟には、その解法を用いて問題を解くことが一般的であるが、それだけでは十分ではなく、この不十分さに対して、問題作りは問題の構造化の過程として捉えられることから、作問が有効とされている。因数分解のような数学の公式は、構造として捉える必要があり、構造的理解の促進のために作問を行うことは意義がある。しかしながら、少数の実践例を除いて、因数分解の学習に作問を取り入れることは普及しているとはいえない。数学の授業の中で因数分解の作問をさせた実践例はあるが、学習者が作成した問題を見ると、特定の公式が使える問題が多く作られているなど、作成された問題に偏りがみられる。また、極端に大きな数を使っているなどのことから、因数分解の結果としての数式を先に作り、それを展開して作問したと考えられる問題もある。この実践例では紙面上で自由に因数分解

の問題作りをさせており、どのような問題を作るのかの指示や制約はなく、作った問題に対する診断・フィードバックも即時的には行えない。このため、公式を解法としてもつ因数分解の作問学習としては不十分と考えられ、公式の深い理解につながる学習になっていないといえる。

本研究では、算数・数学のそれぞれについて、数式を構造的に捉えることが求められる学習課題を対象として、数式を対象とした作問学習環境をシステム化した。設計・開発したシステムは、工夫計算作問学習システムと、因数分解作問学習システムの2つである。算数では、工夫計算を取り上げ、計算の工夫の理解を必須とする学習法として作問学習を適用し、工夫計算を、数式の構造的な理解のための学習課題として扱えるようシステム化した。数学では、因数分解を取り上げて、構造として捉えることを促進するために、再構成法としての作問学習が行える学習環境をシステム化した。

本論文の内容は次の通りである。

第1章では、本研究の位置付けと意義、開発したシステムの概要を述べる。

第2章では、関連研究として、これまでの作問学習への取り組みについて記述する。また、文字式の学習困難に関する様々な指摘と、算数の工夫計算の指導の実践例について触れる。さらに、数学の因数分解の学習に関する先行研究についても述べる。

第3章では、算数工夫計算作問学習システムの設計・開発と実践利用について述べる。システムによる作問は、解法ベースによる作問学習を採用しており、工夫計算の例題と同じ解き方ができる工夫計算の問題を作ることにより行う。例題は例えば「 $18+3$ 」、解き方は「 $18+3=(18+2)+(3-2)=20+1=21$ 」である。同じ解き方ができる問題例は「 $18+4$ 」であり、問題と計算過程、最終回答を含めて「 $18+4=(18+2)+(4-2)=20+2=22$ 」が演習の解答となる。例題を表面的に真似すると「 $18+1$ 」のように工夫できない問題を作成してしまうことが予想されるが、同じ解き方ができる問題を作成できていれば、例題を構造的に捉えられていると考えられる。作成した解答は、システムにより即時的に診断が行われ、学習者に対してフィードバックを返す。開発したシステムは小学校6年生3クラスを対象に、算数の授業と連動して1時限の実践的な利用を行った。学習者のシステム利用成績とアンケート結果、教員へのヒアリングから、システムによる作問学習が小学6年生にとって実施可能であったかを評価した。システム利用前後のプレテスト、ポストテストから、学習者の計算方法に変化を与えたことを示唆する結果が得られたので、その結果についても述べる。

第4章では、因数分解を対象とした作問学習システムの設計・開発と実験的利用、実践利用について述べる。システムによる作問は、解法ベースの作問と問題ベースの作問を混合したもので、因数分解できないようになっている問題を、例題と同じように、ある公式を使って因数分解できるように変更することにより行う。例題は例えば「 $2x+2y=2(x+y)$ 」であり、因数分解できない問題は「 $4x+5y$ 」である。学習者は例題と同じ公式を用いて因数分解できるよう、「 $4x+5y$ 」を「 $5x+5y$ 」と変更し、因数分解の結果を「 $5(x+y)$ 」と入力する。このようにして、ある公式にしたがって因数分解可能な数式を作るという作問学習をシステム化しており、展開による作問の防止と、システムによる診断・フィードバックを実現している。開発したシステムは、大学生を対象に実験的に利用し、システム利用成績とアンケート結果、利用前後のテストから、システムが大学生にとって利用可能か、設計した作問活動が行われたかを評価し、学習効果についても分析した。また、中学3年生1クラスを対象に1時限の教育現場での実践利用もを行い、システムによる継続的な作問活動が観測され、システム利用成績から、システムによる演習が因数分解の能力を要求することを示唆する結果が得られた。学習者へのアンケート結果、教員へのヒアリング結果からも、システムが学習者に利用可能で、因数分解を学習する上で有用と考えられる感想が得られたので、その結果についても述べる。

第5章では、これらの研究のまとめを行い、成果と課題について述べる。