

論文の要旨

題目 可視化された知識構造を用いて論理的思考力の育成をめざす
学習システムに関する研究

(A Study of Learning System Aimed at Fostering Logical Thinking Abilities
Using Visualized Knowledge Structures)

氏名 川本 佳代

現代社会において、論理的思考力は最も重要な能力の1つである。この論理的思考力を小学校から育成することの重要性は、文部科学省の審議会「小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議」をはじめ各教科の学習指導要領解説等においても指摘されている。また、平成29年3月告示の小学校学習指導要領では、アクティブ・ラーニングの視点に立ち、能動的で主体的な学びが強調されている。能動的で主体的な学びには、学習者が自身の内的理解を構造的に外化する活動が有用とされている。本論文では、構造的な外化の前提として必須となる構造的内的理解の促進として、(1) 問題の構造を的確にとらえる活動（論理的読解活動）、内的理解の構造的な外化の促進として(2) 言語的な構造を外在化する活動（言語的構造外在化活動）、および(3) 計算論的な構造を外在化する活動（計算論的外在化活動）の3つの活動を演習として課すことで、論理的思考力の育成をめざす学習システムを開発し、コンピュータ上に実装して提案システムの有効性を評価することを目的とする。

小学校、中学校、高校の学生や生徒が、計算によって解答を導き出す科目や分野の問題解決過程には、問題の解決方法を説明する「考え方」、考え方に基づいて問題を解けるようにする「問題の定式化」、そして定式化により与えられる式に基づいて答えを求める「計算」がある。例えば、「 n メートルの直線上に1メートル間隔で木を植えるときに必要な木の本数を求める」問題には、0メートル地点、1メートル地点、 \dots 、 n メートル地点、に木が植えられる状態をイメージして木の本数を数えるという「考え方」がある。この考え方に基づいて、全部で1から n までで n 本あることと0メートル地点の1本を足して $(n+1)$ 本という「定式化」を行い、具体的な n の数値が例えば5と与えられたときに $(5+1)=6$ として「計算」がなされる。このような問題解決においては、「考え方」を理解し「問題の構造」を的確にとらえた上で「問題の定式化」を行うプロセスが重要となるが、実際には「問題が定式化」された後のいわゆる「公式」を活用して計算を行えば試験で得点が取れるため、学生のレベルに応じては「考え方を理解し問題の構造を的確にとらえること（本研究では本質と呼ぶ）」が省略されることも少なくない。文部科学省の「教科書の改善・充実に関する研究報告書」によると、多くの小学生は現在の算数の教科書に対し、簡単な問題から急に難しくなるのでわからなくなること、また絵や写真は少なくともいいがもっと詳しい図や解説がほしいという学生の感想が示されており、説明のわかりや

すさと、段階的かつ具体的な手順の説明の必要性がうかがえる。また同報告書においては、多くの小学生が「比較量、基準量、割合」の要素からなる分野の考え方に対し、苦手意識を持っていることが示されている。これには百分率「比べる量、もとにする量、百分率」の分野や、速さ「道のり、速さ、時間」の分野が含まれるが、この両者は、 $\text{比較量} = \text{基準量} \times \text{割合}$ 、という構造をもつ。本質を重視した学習が進むことで、片方の分野の理解が他方の理解につながることや、類似する平均値「合計値、平均値、数量」や人口密度「人数、人口密度、広さ」などの分野の理解につながることを期待できる。現在の一般的な教科書及び参考書では、百分率の分野において「 X は Y の $Z\%$ です。 X を求めなさい。」という問題文があったとき、 X が比べる量、 Y がもとにする量、 Z が割合だと教え、「 $\text{比べる量} = \text{もとにする量} \times \text{割合}$ 」という公式に当てはめる解き方で教えている。しかし、公式だけを覚えて正しく考え方を理解していない学習者の場合、「 Y の $Z\%$ は X です。 X を求めなさい。」と、問題文が変更されただけでも、公式の適用が困難になる場合がある。公式やパターン化された解法をあてはめて問題解決しようとするだけの学習では、構造的内的理解につながっていないため論理的思考力を育成できているとは言い難い。そこで本研究では、問題の構造をイメージしやすい図で可視化した知識構造を示しながら直感的な意味付けを繰り返す論理的読解活動を課すことで論理的思考力を育成する学習システムを開発した。このシステムは、百分率と速さの分野を題材とし、「比較量」を求める問題、「基準量」を求める問題および「割合」を求める問題を一貫性のある思考過程を表す図を提示しながら解答を繰り返すことで、公式の丸暗記とその適用をめざす学習ではなく、考え方の理解と記憶を促し、段階的かつ具体的な手順の説明を備え、学習した考え方を定着させて問題の構造を的確にとらえる力を養い、構造的内的理解の促進をめざした。さらに評価実験により、考え方を重視した提案システムが、公式による解き方を重視したシステムに比べ、学習効果があり学習内容の定着が図れることを検証した。

文部科学省は国家戦略会議において「社会の期待に応える教育改革の推進」を公表した。この中で、「すべての子どもに、課題解決のために自ら考え判断・行動できる社会を生き抜く力を育成」することを表明し、その対策の一つとして「考える力(クリティカルシンキング)やコミュニケーション能力等の育成」を挙げている。クリティカルシンキングは批判的思考とも呼ばれ、E.B.ゼックミスタ等は「適切な基準や根拠に基づく、論理的で偏りのない思考」と定義している。さらにあらゆる研究者が、批判的思考において与えられた情報や知識を一面的ではなく多面的にとらえる能力と態度が重要であると指摘している。しかし、その力を身に付けるための演習の実施は簡単ではない。問題解決方法がいくつも存在するような問題においては、ある1つの筋道を立てるだけでなく、複数のあり得る筋道をも立てることが求められる。このような同一対象に対して複数の筋道を立てることを求めるような演習は、これまでインタラクティブな形では取り扱われていなかった。そこで本研究では、同じ状況の中で様々な論理展開を組み立てるというオープンエンドな演習をインタラクティブに実現する四コマ漫画の論理組み立て課題に取

り組む言語的構造外在化活動を通して、与えられた情報を複数の視点からとらえ論理的に試行することで論理的思考力の育成をめざす学習システムを開発した。このシステムでは、複数の筋道が考えられる四コマ漫画の各コマから読み取れる文を選択肢から選び、四コマ漫画の流れに符合する文章を画面上で作成することで、四コマ漫画のもつ筋道の構造を可視化することができる。可視化された構造を見ながら、論理的に妥当な異なる筋道を立てることで、「適切な基準や根拠に基づく、論理的で偏りのない思考」である批判的思考の能力を育成でき、その思考の元となる論理性を読み取り組み立てる際に必要となる論理的思考力を育成することができる。さらに小学生に対する試験的な運用結果から、批判的思考の能力の育成を推進することが期待できることを示唆した。

理数系に関して能力の高い学習者を育てる必要性が注目されている。文部科学省により2002年度から「スーパーサイエンスハイスクール(SSH)」が、独立法人科学技術振興機構(JST)により2008年度～2011年度「未来の科学者養成講座」、2012年度から「次世代科学者育成プログラム」等が実施されてきた。しかし、これらは中・高校生以上が対象であった。J. S. ブルーナーは形式的操作の段階に入る10～14歳程度の子どものついて「科学的概念を教えるには、小学校の水準においてさえも、子どもの認知力が発達する自然の経路に盲従する必要はない。科学的概念は、教え方によっては、子どもをさらに先に向かって発達させるように彼を励ますものであって、しかも彼が使いこなせる機会を提供することによって、彼の知的発達を促すのである」と述べており、小学生においても高度な科学教育が実現できることを示唆している。そこで本研究では、小学校児童向けにフローチャートの読解と作成課題を用いた計算論的外在化活動を課す学習システムを開発した。このシステムでは、可視化された知識構造であるフローチャートを読解させ、問題を解く過程をフローチャートで可視化させて解の評価を繰り返すことで、分析および評価に基づく論理的整合性のある表現をする論理的思考力を育成する。一般的な児童ではなく、理数に関して高い関心を持っている児童を対象にした評価実験により、(1)開発したシステムを用いたフローチャートの読解・作成活動を小学校児童が行えること、(2)この活動を行った児童では論理的思考力が必要とされる問題に対する成績が向上していることの2点を実験的に検証した。

本論文の内容は次の通りである。第2章では、論理的思考とその思考に関連する批判的思考について説明し、関連研究を示しながら本研究の位置づけについて述べる。第3章では、基礎となる概念や知識の直感的な意味付けを繰り返す論理的読解活動を課す学習システムについて述べる。第4章では、四コマ漫画の論理組み立てを題材とした言語的構造外在化活動を通じて論理的思考力の育成をめざす学習システムについて述べる。第5章では、フローチャートを用いた論理構造の読解・構築を行う計算論的外在化活動を通じて論理的思考力の育成をめざす学習システムについて述べる。最後に第6章では、これらの研究のまとめを行う。