

論 文 の 要 旨

題目 問題理解過程の外化・修正支援環境の設計・開発 —初等力学を事例として—

(Design and Development of Support Environment for Externalization and Remediation of Problem Understanding Phase –Case Study of Elementary Dynamics and Mechanics–)

氏名 篠原 智哉

「人の思考」を何らかの目的を持った「情報に対する操作」として捉えることは、人工知能や認知科学における最も重要な作業仮説の一つとなっている。人の思考を情報に対する操作であると捉えると、その情報を可視化し、人にとって操作可能なものとするとは、通常は明確ではない人の思考を明確化し、促進することに対する極めて有力なアプローチとなる。本研究は、情報の可視化・操作可能化という情報工学技術による、人の思考の促進の可能性を教育・学習の領域で探究したものと位置付けることができる。

教育・学習活動は、知識を学習者に与える教授の段階と、与えられた知識を使ってみることで知識の定着を図る演習の段階の二つに分けることができるとされる。このうちの演習の段階においては、学習者に対してその知識を用いる問題を与え、それを解かせる問題演習が行われることが多い。この問題演習において、問題解決の過程はさらに、問題を解くのに必要な解法を同定するための問題を理解する過程（問題理解過程）と、同定した解法を用いて実際に解く過程（解決実行過程）、の二つに分けられる。これらのうち、解決実行過程は実際に解法を実行する過程であるといえ、実行可能な解法が定式化済みであり、またその記述形式も確立されているため、比較的扱いやすく、支援のための研究が既に多く行われている。これに対して、問題を理解する過程に関しては、明確な定式化が行われていない。そのため、この理解過程を取り扱うためにはまずそのモデル化から始める必要があり、いまだにその過程の支援に関する十分な研究が行われているとは言えない。またそれと共に、問題解決の難しさの多くがこの理解の過程に存在するという指摘も多くの研究によってなされている。

本研究はこの理解過程を、解法同定のための情報の操作過程であると捉えた上で、学習者に対する可視化・操作可能化を試みたものである。このように、学習者に対して情報を可視化し、操作可能にすることは、教育・学習の文脈においては「外化」という言葉を用いて指されることも多く、本研究でもこの外化という用語を用いている。学習を目的とした外化活動においては、目的に応じた内容を、それに適した形式で表現する必要がある。これらの決定には困難さが伴うと考えられる。そこで本研究では、外化活動の実現のために、まず適当な表現形式と内容を定めることから始めている。そのうえで、理解過程を情報に対する操作と捉え、定めた表現形式への実際の操作として外化活動を実現する。さらにこのように、表現と操作を形式化していることで、情報工学的な診断を可能にし、個別な対応をも可能とすることを目指す。この診断結果に基づく個別の修正支援も本研究のテーマとなっている。

また本研究では、このような外化による学習支援の対象を、初等力学での学習課題に絞って研究を進めた。これは同範囲の課題においては、言語的に表現された問題記述を力学法則に従って理解し、その理解に基づいて数学的な解決が行われており、問題理解と解決実行過程の区別が明確であり、また、こ

れまで行われてきた様々な研究から、問題理解過程における難しさが指摘されているからである。また、現時点では、問題理解過程に関する一般性のある表現は提案されておらず、特定の課題に絞って理解過程の表現とその表現を用いた外化・修正支援を試みることが、現実の学習において有効な支援を実現する上で必要な、一つの段階であると考えている。

本研究では、まず、初等力学での方程式の立式過程の支援を対象とし、先行研究において問題生成や問題分類の自動化を指向して提案されていた、力学問題を構成する概念の構造的記述をベースに、提供された部品からその構造的記述を学習者が組み立て、さらにその構造を基に解法の構造も組み立てることができる環境を実現した。力学の問題では、どのような物体に対してどのような力がはたらいているかが分かれば、それらに問題中の要素を関係付けて方程式を立て、解くことができるといえるが、本研究ではこの要素の関係付けを、構造的記述によって表現させている。この研究ではこの関係付けの段階を取り扱っているが、この研究を通して、物体にはたらいている力を正しく把握・記述できておらず、そのより深い原因として、力間関係が理解できていないことが挙げられるのではないかとこの知見を得た。この知見に基づいて、力学系にはたらいている力間関係のモデル表現を設定し、その表現を組み立てることを可能にする環境を実現した。これにより、より深いレベルでの問題理解を捉え、修正支援のフィードバックを行うことが可能となったことを実験的に確認できた。しかしながら、さらに、力間関係に限らず、力自体に対して概念的に誤った理解をしている場合もあり、このような場合の修正支援が必ずしも十分ではないことが既に様々な研究で指摘されている。実際の教育・学習の場に対して意義のある支援を実現するためには、力自体に対する外化と修正支援を実現することが必要であると考えた。このような考えのもとで、学習者の力に対する考えと運動との関係を外化するための、学習者が系にはたらいていると理解した力に基づく運動シミュレーションの生成を試みた。これについては、実際の力の概念の学習者である中学生を被験者とした授業での実践的利用を実現しその有効性のについても確認することができた。これらの一連の力学を対象とした理解過程の外化と修正支援をまとめたものが本論文である。

以下に、本論文の各章の概要を示す。

まず第1章で、問題演習学習への支援方法としてのシステム開発に関する、その意義と本研究でのアプローチについて説明する。

第2章では、本研究で対象とする力学での理解への支援を目的とした先行研究を取り上げ、それぞれの方針と具体的な取り組みをまとめる。さらに、本研究の方針である理解の外化について説明する。

第3章では、初等力学を対象とした、立式過程での問題理解の外化とそこへの診断・フィードバックによる学習支援システムの設計と開発について説明する。一般的な問題解決では、記述されるのは運動方程式であり、学習者の問題に対する理解の最終的な状態を推定することはできるが、そのような理解に至った過程、またそこでの誤りを見ることは難しい。そこで、このシステム上で学習者は、運動方程式の立式に至る過程での理解を段階的に外化する。それにより、従来明らかではなかった理解していく過程を、詳細に見ることができる。また、工学系の大学生を対象に行った同システムの試験的評価についても報告する。

第4章では、初等力学における力とその関係の把握過程への学習支援を目的とした、外化による学習支援システムについて説明する。このシステム上で学習者は、一般的な力の作図に加え、グラフ表現による力間関係の表現を行うことで、自身の力とその関係に対する理解の外化を行う。このような理解

は通常の問題解決やそこでの解答では明らかにならない場合も多く、誤りの発見・修正は容易ではないが、力とその関係の外化を行うことでそれらについての誤りが明らかとなり、システムによる診断・フィードバックも可能となる。また、工学系の学生を対象として行った、同システムの予備的な評価実験についても説明する。

第5章では、初等力学での運動系を対象とした、力の把握過程での、概念的な誤りの修正を目的とした学習支援のための Error-Based Simulation (EBS) システムについて説明する。EBS は学習者の誤りに基づいたシミュレーションであり、学習者の持つ誤った考えは、物体の不自然な挙動として可視化される。これにより、学習者の理解した力と運動との関係が外化され、この挙動を観察することで、学習者が自身の誤りに気づき、修正することを促すことを目的としている。同システムについては中学校、及び高等専門学校において実践的に利用実験を行った。これらの結果についての報告も行う。

最後に第6章で、これらの一連の研究をまとめ、初等力学という限定された学習課題ではあるものの、問題理解過程の外化と修正に関して、人の思考を情報に対する操作として捉えるアプローチが有効であることを示せたこと述べる。