

## 文章題解決を促す図表活用スキル教授法の認知神経科学的検討

綾部 宏明(東京大学 大学院教育学研究科 特別研究員)

視覚表現は問題を解くための武器である。ワーキングメモリの視覚チャネルの働きを支援するため、認知機能を強化する。文章題を解くためには図表が最も効果的とされるが、深刻な問題が立ちはだかつており、有効な教授法は確立されていない(Hembree, 1992; Uesaka et al., 2007)。具体的には、文章題を解くために生徒は自発的に図表を使わない(産出欠如; Dufour-Janvier et al., 1990; Uesaka et al., 2007; van Garderen et al., 2013)、文章題に適切な図表を選べない(条件的知識の欠如; Corter & Zahner, 2007; Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Van Garderen et al., 2013)、たとえ生徒が適切な図表を作っても、正答を必ずしも導き出せない(利用欠如; Uesaka & Manalo, 2006; Uesaka et al., 2007, 2010)という問題である。図表活用教授を特に困難にする理由は、これら3つの問題が異なる段階で生じるため、失敗の原因を同定しづらい点にある。つまり、生徒が図表から恩恵を受けられるようにするためには、使う図表の構想、作成、活用の一連の認知プロセスを遂行するための図表スキルを習得させる必要がある。したがって、問題タイプと図表の種類の適切性を理解を深め、教師が条件的知識を明示的に教えられるようにするための理論的基盤を提供すること(研究1)、図表を活用するための知識がそのスキルをどのように開発するかについての理解を深めること(研究2)、ここでの研究知見を実際の教育場面で検証し、実用的な教授法を開発すること(研究3)を本研究の目的とした。

研究1では、小中生48名に対して抽象的な図表(表/グラフ)、具体的な図(イラスト)、数式のいずれかを提示して文章題を解答させ、正答率と脳血流量(fNIRS)を計測することで図表の表現効果を比較した。その結果、数の規則性を推論させる問題においては、表を使用したときのほうがイラストを使うよりも正答率が高く、数式のみを提示するとともに正答率は低かった。数量が複雑に変化する問題においては、グラフを使うほうがイラストを使うよりも正答率が高く、表を使うときはもっとも低かった。これらの結果は、図表の表現効果と推論タイプの適切性によると考えられ、特に、数量が複雑に変化する問題を解くためにはグラフが役立つことを示唆する。

研究2では、小中生24名に対して「グラフ」の活用知識の効果を行動と脳活動(fNIRS)によって確かめる実験を行った。図表の利用欠如(=適切な図表を選んでうまく使えない)に対処するためには図表の使い方を教える必要がある。教育場面において、どんな図表が役立つかを教える場面は少なくないが、その使い方(手続き的知識)を訓練することはめったにない。表使用スキルに着目したAyabe et al. (2022)は、条件的知識(表を使い)のみの教示では表の使用は高まるものの解決に失敗するが、表の使い方(条件的+手続き的知識)までを教授すると解決に成功することを示した。本実験では先行研究を忠実に再現しつつ、グラフ使用スキルに応用することを試みた。その結果、グラフを使うことを求められただけの場合、グラフを作成するもの問題解決につながらず前頭前野の脳血流が減少し、グラフの使い方を指導された場合は、グラフの使用と正答率の両方が高まり前頭前野の脳血流も高まった。この結果は、「表」のみならず「グラフ」においても、手続き的知識までを含めた図表知識の提供が、生徒の問題解決能力を高めるために重要であることを示唆する。

研究3では、図表を使って文章題を解決するスキルを習得させるための教授法開発を目的とした実践研究を、中2生3クラス60名対象に行った。実験室実験から得られた図表知識の教授法に関する知見を実際の教育場面で生かすためには、教員と共同して実用的な教授法を開発する必要がある。そこで、表、数直線図(2次元並行グラフ)に着目して、いずれかが適切とみなされる文章題(電流回路、食塩水濃度)を課題として教授法の効果を確認した。授業は中学校の実際の教科担任が担当した。その結果、表、グラフともに図表知識教授介入後に正答率は高まった。引き続き2週間後の遅延テストでは正答率は低下したものの実験開始前よりは高い正答率を維持した。注目すべき点は、教授介入後に問題に対する内発的動機づけが高まり、遅延テストにおいて低下したものの実験開始前よりは高かったことである。これらの結果は、本研究が開発した図表教授プログラムが実際の教育場面において有効、かつ、実用可能であること、さらに理数嫌いのような我が国が抱える課題へ解決策を提供する可能性を示唆する。

以上より、本研究は図表活用教授を困難にする問題に理論的かつ実証的に対処し、それを踏まえた図表教授プログラムの有効性を実証した。ここで得られた知見は、数学的問題解決を促す図表スキルを習得させるための教授法確立に貢献するものである。