

称号及び氏名	博士（人間科学） 森 兼隆
学位授与の日付	2018年9月25日
論文名	The role of executive function in integration process of arithmetic word problem solving: Focusing on the updating function
論文審査委員	主 査 岡本 真彦
	副 査 井手 亘
	副 査 牧岡 省吾

論文要旨

算数文章題の解決過程では、統合段階の重要性が指摘されているが統合の背後にある認知メカニズムは明らかになっていない。本研究では、作動記憶の更新機能と統合段階との関連性を検討し、統合段階の認知メカニズムを明らかにすることを目的としている。

第一章において、これまでの作動記憶研究と文章題研究を概観し、本研究の目的を示す。作動記憶は人間の思考を支える容量限界のある一時的貯蔵システムであり (Baddeley, 2007)、貯蔵を担う音韻ループと視空間スケッチパッド、及び、それらの協同、注意制御を行う中央実行系から構成される。作動記憶と算数成績との関連を調べた研究は、特に中央実行系に関わる課題成績が算数文章題成績を予測することを示し (e.g., Andersson, 2007)、情報の貯蔵以上に何らかの注意制御を行うことの重要性が示唆されている。

しかしながら、中央実行系は複数の機能を果たしていると考えられており、文章題解決における中央実行系の役割が具体的に検証されているわけではない。中央実行系には、優勢な反応を抑制する機能、課題セットを切り替える機能、作動記憶内の情報を更新する機能という3つの機能があると考えられている (Miyake et al., 2000)。Agostino et al. (2010) は、更新機能が算数文章題成績の予測子として優れていることを報告し、算数文章題解決における更新機能の重要性を指摘している。

算数文章題の解決過程は変換段階、統合段階、計画段階、実行段階の4つの段階に分けられる (Mayer & Hegarty, 1996)。文章題解決では、問題解決者が、問題の理解 (問題表象) を構築し、正しい解決方法を考える必要があり、問題表象を構築する統合段階の重要性が指摘されている。実際、Muth (1984, 1992) は問題の解決に必要な過剰情報の含まれた問題では、必要な情報のみを含んだ問題に比べて、正答率が低下することを報告している。過剰情報を含んでいても、単文の複雑さや、必要な解法は変わらない。したがって、過剰情報の有無は、問題の情報を関連づける統合段階の難しさに影響を与えていると考えられる。この結果は、統合の難しさが問題解決の成否に影響することを示している。

先行研究によって算数文章題解決において更新機能の重要性が報告されているが、そうした報

告は更新機能と算数文章題成績との関連を調べている。最終的な成績との関連を調べるだけでは、更新機能が算数文章題解決中に果たす役割について実証できているわけではない。また、算数文章題解決過程の研究において統合段階の重要性が指摘されているものの、その背後の認知機能は明らかになっていない。統合段階と更新機能との関連を実験的に研究することで、統合段階の背後の認知機能として更新機能が重要であることを明らかにできると考えられる。この予想は、文章題の統合段階では、新しい情報によって問題表象を更新するという考えとも一致する (Kintsch, 1992)。しかしながら、この予想は直接明らかにされておらず、実証する必要がある。

また、更新機能による情報の操作は各モダリティ（音韻ループ・視空間スケッチパッド）内の情報を対象に行われると考えられる。文章題という形式上、言語的な情報の操作が重要であることが考えられるが、他方、視覚的な表象を構築することで文章題を理解しているという報告もある。更新機能が統合段階に関わっている場合に、どのモダリティの情報の操作を通じたものなのかを理解することは、統合段階で行われる処理の理解を深めるために必要である。また、算数文章題の指導を考える際にも有用な情報を与えてくれるだろう。したがって、本研究では音韻領域もしくは視空間領域を利用した更新機能を測定し統合段階との関連を検討する。

更新機能が算数文章題の統合段階で果たす役割を明らかにするために、本研究では 4 つの実験を行った。第二章において、実験 1 および 2 によって、文章題の統合段階における更新機能の重要性を検討する。特に実験 2 では、統合段階後の問題表象に含まれる情報が、更新機能の高さによって変わるかどうかを検討し、問題表象構築に更新機能が寄与することを明らかにする。

算数文章題の統合段階と更新機能の関連を調べるために、本研究では文章題解決の各段階の読み時間を測定し、特に統合段階の読み時間に注目をする。そのために、文章題解決課題を一文ずつパソコンのモニター上に表示し、問題解決者がボタンを操作することで前後の文に自由に移動できるようにする。問題解決者が行う課題は自分のペースで文を前後に読み進めた後、ボタンを押すことで式を表示させ、表示された式の中から正しい式を選択することである。問題に適した表象の構築を行うのが統合段階と考えられるので、質問文を見てから式を表示させるまでを統合時間とした。

更新機能が統合段階に関わるなら、更新機能の高い問題解決者ほど統合をしやすく、統合の困難さの影響を受けにくいと考えられる。したがって、統合の困難さによる統合時間の違いを調べることで統合段階における更新機能の重要性を調べることができる。統合の困難さの操作には、過剰情報の含まれた過剰情報問題と含まれていない必要情報問題が利用された。過剰情報問題では必要情報問題に比べて統合が困難となることが知られている (Muth, 1984, 1992)。

更新機能の測定は、音韻に関わる更新課題である文字記憶課題（1文字ずつ提示される文字の最新の4文字を声にだす課題）と視空間に関わる更新課題である n-back 課題（提示された図形が n 試行前のものと同じかどうか判断する課題）によって行われた。

実験 1 では大学生 78 名が参加者であった。分析の結果は、統合時間において問題のタイプ（必要情報問題 vs. 過剰情報問題）と音韻更新機能の交互作用を示した。この結果は、過剰情報は統合時間を増大させるが、音韻更新機能が高くなるほどその効果が減弱することを示唆していた。すなわち、統合段階において更新機能が重要な働きを果たしていることが示唆された。

実験 2 では、大学生 73 名が参加者であった。この実験では、更新機能が統合段階での問題表象構築に関わるのかを明らかにするために、式表示の直前に語彙性判断課題を挿入した。統合段階の直後に語彙性判断を課すことで、問題解決者が保持している情報の活性状態を調べることができる。語彙性判断課題では 3 つの条件が用意された。文章題中に必要情報として提示された必要情報単語条件、過剰情報として提示された過剰情報単語条件、文章題中に提示されなかった新奇語条件である。実験の結果、統合時間については、再び過剰情報が統合時間へ与える効果が音韻更

新によって減じられることを示し、実験 1 の結果が再現された。語彙性判断課題についての分析の結果、音韻更新機能と過剰情報単語との間に交互作用が認められ、音韻更新機能が高いほど統合後の過剰情報の活性値が低いことが示唆された。すなわち、更新機能が高いほど、過剰情報の活性値を下げ、必要情報を保持した問題表象を構築していたと考えられる。更新機能は必要情報のみ含んだ適切な問題表象の構築に寄与することが示唆された。

第三章において、実験 3 と 4 によって、更新のモダリティと、問題のカテゴリー、問題の提示フォーマットとの関連を検討する。実験 3 では、大学生 47 名が参加者であった。面積を求める文章題を利用することで、視空間更新機能も文章題解決に寄与するのかを検討した。面積文章題は、図形に関する情報が記述されている。問題を解く際に、文章題の記述から図形についての視覚的な表象を構築することが考えられる。実験の結果、面積文章題では音韻更新機能だけでなく、視空間更新機能も文章題解決の統合段階において過剰情報の統合時間への影響を減じることが示唆され、文章題であっても面積問題では視空間更新も重要な役割を果たすことが示された。

実験 4 では、大学生 49 名が参加者であった。この実験では、面積についての問題を図形で提示した。図形に表示される長さの情報を、文章題と対応するように一つずつ提示し、文章題と同様に問題解決の時間を測定した。図形で提示した面積問題では、統合時間では更新機能の寄与がみられなかったが、全体読み時間において、過剰情報の影響を減じる形で視空間更新機能が寄与することが示唆された。

第四章において 4 つの実験結果を総合すると、算数文章題解決の統合段階で更新機能が重要な働きをしており、特に、問題表象の構築に関与することが示唆された。算数文章題を解くためには、適切な情報を選択し、文章題の問いに合わせて情報を関連付け、問題表象を構築する必要がある。本研究では、適切な問題表象の構築に、作動記憶内の情報を更新する機能が関わることを示している。また、どのモダリティを利用する更新機能成績が重要であるかについては、問題のカテゴリーや、問題の提示形式が影響した。作動記憶内の情報を更新し、問題表象を構築するためには、実際にその問題表象に関わる領域の情報の操作が重要であることが示唆された。

本研究は、文章題解決中に更新機能に配慮をした指導方法の重要性を示唆している。更新機能の低い問題解決者には、更新という処理の必要性を下げるような方略が有効だと考えられる。例えば、質問文の先行提示は、文章を読む初期の段階からどのような問題表象を構築すればよいかを理解することができ、適切な問題表象を構築するための更新が低減されると考えられる。

学位論文審査結果の要旨

本学位論文審査委員会は、人間社会システム科学研究科人間科学専攻の博士論文審査基準に照らして厳正な審査を行い、以下の評価と結論に至った。

1) 研究テーマが絞り込まれている

本論文は、算数文章題の解決過程の4段階のうちの統合段階での認知プロセスに作動記憶の更新（updating）機能がどのような役割を果たしているのかに焦点化して検討したものであり、研究テーマは明確に絞り込まれている。

2) 論文の方法論が明確である

本論文では、対象者の視空間更新機能と音韻更新機能を測定し、これらの2つの更新機能の個人差が文章題解決の測度である読み時間にどのように影響するのかを明らかにするという実験パラダイムを4つの研究で共通して用いており、明確で一貫した研究法を採用している。

3) 研究テーマについての先行研究の調査を十分に行っている

本論文では、最初に作動記憶に関する先行研究を丁寧に展望し、そこから作動記憶の構成要素の中でも更新機能の重要性が高いことを導き出した上で、文章題研究に関する研究を展望する中で文章題解決における更新機能の役割を検討することが重要な研究の焦点であることを論理的に展開しており、十分な先行研究の調査がなされている。

4) 研究の素材となる基本文献、資料、調査データを十分に吟味している

作動記憶の測定方法や文章題解決過程の実験法など先行研究の知見を十分に吟味し、適切な手法を用いて研究を行っている。また、データ解析法についても混合効果モデルを用いて統計的分析を行っており、これまでの基本文献や調査データを十分に吟味して研究を行っている。

5) 研究テーマについて、先行研究にはない新しい知見を打ち出している

これまでの研究では、作動記憶や更新機能が算数文章題の解決成績と関連することを明らかにするのに留まっていたが、本論文では、更新機能が統合段階という特定の段階での認知プロセスに関与していることを実験的に示したことに加えて、語彙判断課題を用いて作動記憶内に問題表象が保持されていることを明らかにしており、関連研究を進展させる新しい知見を見出している。

6) その知見を裏付けるための、必要にして十分な議論と実証が展開されている

第4章において、実験データを総合した上で先行研究の知見と関連づけながら、算数文章題の解決過程における更新機能の役割について必要にして十分な議論が展開されている。

7) 当該分野の研究領域に新たな地平を切り開く、独創性を備えた論文である

1980年代から検討が進められてきた文章題研究は、2000年代に入ってから研究の速度が世界的にも遅くなり停滞しつつあったが、本論文はその停滞を打ち破るきっかけとなる可能性を持つ論文であり、新たな地平を切り開く論文である。