

氏 名（本籍） しま だ ひで あき 島 田 英 昭（長野県）
 学 位 の 種 類 博 士（心 理 学）
 学 位 記 番 号 博 甲 第 3307 号
 学位授与年月日 平成 16 年 3 月 25 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 審 査 研 究 科 心理学研究科
 学 位 論 文 題 目 加法・乗法の暗算処理過程の認知科学的研究

主 査 筑波大学教授 教育学博士 海 保 博 之
 副 査 筑波大学助教授 博士（医学） 一 谷 幸 男
 副 査 筑波大学助教授 教育学博士 服 部 環
 副 査 筑波大学助教授 清 水 静 海

論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、1 桁の加法・乗法の暗算処理について、実験的アプローチとシミュレーション（計算モデル）によるアプローチを組み合わせる認知科学的手法によって、その処理過程の解明を目指したものである。

本論文は次の 3 部から構成される。第 1 部ではこれまでの暗算処理研究の概観（第 1 章）と、これまでの研究をふまえての本研究の問題を提起した（第 2 章）。

第 2 部では、第 2 章における問題に対して、実験的検討とシミュレーションによる暗算処理のモデル化を行った。特に、暗算処理の反応時間が、連合強度と干渉強度の 2 要因により決定されるとする 2 要因モデルの枠組みを仮定し、検討を行った。

研究 1（第 3 章）では、産出課題（たとえば、 $3 + 4 = ?$ に答える課題）の反応時間を測定し、問題サイズ効果、同数効果、加法と乗法の反応時間の違い、および加法と乗法の演算による問題サイズ効果、同数効果の違いを明らかにした。研究 2（第 4 章）、研究 3（第 5 章）では、数照合課題を用いることで問題タイプごとの連合強度の違いを吟味した。研究 4（第 6 章）では、研究 2, 3 における結果を考慮し、問題タイプごとの連合強度の違いがどのようにして起こるのかについて、シミュレーションによる検討を行った。特に、連合強度は、問題に基づく連合強化、演算数に基づく連合強化、ファン効果による連合抑制、大きさの類似性による連合抑制の 4 つの要因により説明が可能であることが示された。研究 5（第 7 章）では、研究 4 にてモデル化された連合強度について、再び実験的検討を行い、妥当性が吟味された。

続いて研究 6（第 8 章）では、連合強度と並ぶ反応時間の決定因である干渉強度について、再び数照合課題を用いて検討を行った。この結果を用いて、研究 7（第 9 章）において干渉強度のモデル化を行い、研究 4 にてモデル化された連合強度のモデルを組み合わせることで、研究 1 にて確認された産出課題の反応時間の説明がなされた。研究 8（第 10 章）、研究 9（第 11 章）では、これまでに説明が不可能であった真偽判定課題（たとえば、 $3 + 4 = 7$ の真偽を判定する課題）の反応時間の説明が、本研究のモデルにより可能であることが示され、本研究のモデルの有効性が示された。

研究 10（第 12 章）では、本研究のモデルの重要な仮定である反転問題の独立性について実験的検討を行い、反転問題の独立性の仮定が妥当であることが示された。

最後に、第 3 部において、本研究の結論（第 13 章）と今後の課題（第 14 章）がまとめられた。

本研究の主要な成果は、産出課題と真偽判定課題の問題サイズ効果、同数効果について、加法と乗法の違いを含めて説明を可能とした点である。以下に本研究のモデルによる説明、およびその根拠となる実験とシミュレーションの結果をまとめる。

産出課題の処理については、まず、問題サイズ効果について、これまでのモデルが加法と乗法に対して共通の要因を用いて説明していたことに対し、本研究では演算間で異なる説明をした。加法では、連合強度が問題サイズが大きくなるにしたがって弱まり、結果として問題サイズ効果が起こるとした。一方、乗法では、問題サイズが大きくなるにつれて干渉が強くなることを仮定することで、問題サイズ効果が起こるとした。

加法と乗法の問題サイズごとの連合強度の違いについては、研究 2, 5 によって実験的検討がなされ、研究 4 における連合強度のシミュレーションにより実験結果が説明可能であることが示された。また、問題サイズごとの干渉強度の違いが研究 6 により実験的検討がなされ、それをもとに研究 7 において干渉強度が算出された。そして、連合強度と干渉強度の関数により、研究 1 で検討された加法と乗法の問題サイズごとの反応時間の違いが説明可能であることが、研究 7 のシミュレーションにより示された。

同数効果については、問題サイズ効果と同様に、加法と乗法で異なる説明をした。加法では、連合強度が同数問題と非同数問題で異なることにより、同数効果が起こるとした。一方で、乗法では、干渉する類似問題の答えの種類が、同数問題と非同数問題で異なることにより、干渉強度が異なり、同数効果が起こるとした。

同数と非同数の連合強度の違いについては、研究 3 により実験的検討がなされ、研究 4 における連合強度のシミュレーションにより実験結果が説明可能であることが示された。また、同数と非同数の干渉強度の違いが、研究 6 における問題サイズごとの干渉強度の違いをもとに、研究 7 にてシミュレーションによって推定された。そして、連合強度と干渉強度の関数により、研究 1 で検討された加法と乗法の同数問題と非同数問題に対する反応時間の違いを説明可能であることが、研究 7 のシミュレーションによって示された。

最後に、加法と乗法の演算間の違いに関して、全体的に乗法の反応時間が長いことに対しては、干渉に関する 2 つの下位要因により説明した。一つは、乗法は干渉する数の種類が多いことである。もう一つは、大きさの類似性による干渉強度の違いである。これらの要因により、産出課題の反応時間は乗法の方が長いことを説明した。

乗法に干渉する数の種類が多いこと、および大きさの類似性による干渉強度の違いが研究 7 の産出課題のシミュレーションで仮定されることで、研究 1 の結果を説明可能であることが示された。

真偽判定課題の処理については、連合強度が強いほど、反応時間が短くなると説明した。問題サイズ効果については、連合強度は、(a) 全体的に乗法の方が強く、(b) 問題サイズごとの変化は加法の方が大きいことから、真偽判定課題は、(a) 全体的に乗法の方が反応時間が短く、(b) 問題サイズ効果は加法の方が大きいことが説明された。また、同数効果も同様であった。問題サイズごとの連合強度の違いに関しては、研究 2, 3, 5 の実験的検討により示された。また、その連合強度は、研究 4 におけるシミュレーションにより説明可能であることが示された。この連合強度によって、研究 8, 9 における真偽判定課題の反応時間を説明可能であることが示された。

既存のモデルと比較した際、本研究のモデルの特にな有効な点は、次の 3 点である。

第一に、産出課題の加法と乗法の反応時間のパターンの違いを説明していることである。本研究以前に提唱された暗算処理の代表的モデルであるネットワーク検索モデルや連合分布モデルでは、加法と乗法一方のみの問題サイズ効果や同数効果は説明可能であった。しかし、全体的に乗法の反応時間が長く、問題サイズ効果は乗法の方が大きい傾向があることは説明できなかった。

第二に、産出課題と真偽判定課題の反応時間のパターンの違いを説明可能としている点である。ネットワーク検索モデルでは、真偽判定課題の説明も可能であるとされたが、本研究 1 と 8, 9 の違いを説明できない

ことが明らかになった。また、ネットワーク検索モデルと同じく、本研究以前に提唱された代表的モデルであるネットワーク干渉モデル、および連合分布モデルでは、真偽判定課題を説明対象としてこなかった。

第三に、同数効果を、同数問題のみに対する特別な仮定をせずに、加法と乗法の演算構造のみにより説明した点である。たとえば、ネットワーク検索モデルや連合分布モデルでは、同数問題は連合強度が比較的大きいことが仮定された。また、ネットワーク干渉モデルでは、同数問題は干渉の影響を受けにくいことが仮定された。しかし、このような仮定の妥当性に関しては、ほとんど検討が行われてこなかった。本研究では、同数問題のみに対するこのような仮定は全く用いておらず、したがって同数問題に適用される仮定の妥当性に関する検討は必要ない。

審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究では、一桁の暗算の認知的処理過程がどのようになっているかを、包括的かつ子細に検討した研究である。

過去の研究の中で一致をみていなかった現象を確定し、さらに連合強度と干渉強度との2要因からなるモデルを仮定することで、これまでの研究仮説を統一的にとらえることができることを示したものである。この点で、本研究は、この領域における里程標ともなりうるもので、高く評価される。

また、心理学では未だ数の少ないシミュレーション研究に果敢に挑み、仮説検証を行っている点も、心理学の研究者に対して師範的な意味合いをもっている。

しかしながら、扱っている問題が極めて限定されているため、得られた知見もモデルも、このマイクロ世界でのみ通用するようなどころがある。今後、小学生レベルの暗算の教育への示唆が与えられるような方向への研究テーマの拡大が求められるところであるが、当面の課題の解決には十分に成功しており、心理学界においても一定の評価が得られている研究である。

よって、著者は博士（心理学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。