

1 桁の加法・乗法の真偽判定課題における同数効果の生起因

島田英昭

(筑波大学心理学研究科)

Key Words: 心的演算, 真偽判定課題, 同数効果

これまでの加法と乗法の心的演算に関する研究では、1 桁の加法と乗法の産出課題(3 + 4 = ? に答える)において、3 + 3 や 6 × 6 のような演算数が一致する同数問題は、非同数問題に比べて反応時間が短い同数効果が確認されている。この同数効果の生起因をめぐって、さまざまな説が提唱されてきた(心的演算に関するレビューとして、島田・海保, 2003)。

本研究の目的は、次に述べる同数効果の生起因に関する 3 つの説の妥当性を、真偽判定課題(たとえば、6 × 6 = 36 の真偽を判定する課題)を用いて比較、検証することである。同数効果の生起因と真偽判定課題の反応時間を予測する理論として、加法・乗法非対称説(島田, 審査中)、符号化優位説(Blankenberger, 2001)、学習頻度説(Ashcraft, 1987)の 3 つの説がある。以下、それぞれの詳細を述べる。

加法・乗法非対称説 島田(審査中)は、同数効果の生起因が、加法と乗法で異なるとする加法・乗法非対称説を提唱した。この理論では、個々の問題とその答えの組に連合強度を仮定する。この連合強度は、全体的に同数問題の方が非同数問題より強いが、同数問題と非同数問題の間の強度の差は、加法の方が乗法に比べて大きいとされる。その理由は、連合強度の形成過程にある。

問題ごとの連合強度差を生み出す原因の中で、同数問題と非同数問題の違いに寄与するのは、演算数ベースの連合強化とファン効果による連合抑制である。演算数ベースの連合強化とは、たとえば 3 + 3 = 6 のファクトには、演算数の一方を替えても答えが等しい 3 × 2 = 6 というファクトが存在する。これにより、演算数の 3 と答えの 6 の間の連合が、このようなファクトが存在しない問題よりも強く強化される。一般に、加法の同数問題は、 $a + a$ に対して $a \times 2$ のように乗法の中に必ず演算数ベースの連合強化を生み出すファクトが存在する。したがって、加法の同数問題は、その他の問題に比べて連合強度が強くなる。しかし、乗法の同数問題にはこのような構造はないため、演算数ベースの連合強化からは乗法の同数問題と非同数問題の連合強度の差分は生じない。

一方で、乗法の同数問題は、非同数問題にくらべてファン効果による連合抑制が少ない。ファン効果による連合抑制とは、たとえば、8 を答えに持つファクトは、2 + 6, 3 + 5, 4 + 4, 5 + 3, 6 + 2, 2 × 4, 4 × 2 と多数ある。このように、同じ答えを共有する問題が多い場合は、お互いの連合強度を抑制するとされる。非同数問題は、 $a \times b$ を $b \times a$ とすることで、必ず 2 つ以上の同じ答えを共有するファクトが存在する。しかし、同数問題は、数を入れ替えても全く同じファクトであるため、全体的に同じ答えを共有するファクトが少ない。これによって、乗法においては、同数問題は非同数問題に比べて、わずかに連合強度が強い。加法については、答えの範囲が小さな数に限定されるため、同数問題であっても、加法の中に同じ答えを持つファクトが存在することが多い。したがって、加法ではファン効果による連合抑制は生じにくい。

以上をまとめると、加法の同数問題と非同数問題の連合強度

差は、加法は演算数ベースの連合強化により生じ、乗法の連合強度差はファン効果による連合抑制により生じる。全体的に、演算数ベースの連合強化は強い効果を持ち、ファン効果による連合抑制はそれほど大きな効果を持たないとされるので、同数問題と非同数問題の連合強度差は、加法の方が大きい。この点は、島田(審査中)によって、計算的にシミュレーションが行われている。

このモデルでは、真偽判定課題の処理は、連合強度を反映した処理であるとされる。すなわち、連合強度が強い場合は反応時間が短く、連合強度が弱い場合は反応時間が長い。同数問題と非同数問題の連合強度差は加法の方が強いため、真偽判定課題の同数効果量は、加法の方が大きく、乗法の方が小さいことが予測される。

符号化優位説 Blankenberger (2001)は、同数効果の生起因が、同数問題の符号化が非同数問題に比較して優位であるとする符号化優位説を提唱している。これは、同数問題は常に演算数が等しいため、符号化の段階で非同数問題に比べてコストが小さく、これにより同数効果が生じるとする説である。

この理論にしたがえば、真偽判定課題の同数効果量は、加法と乗法で変化がないことが予測される。なぜなら、符号化時の優位性で同数効果が起こるとすれば、加法と乗法の演算の違いは影響を与えないためである。

学習頻度説 Ashcraft (1987)は、同数問題は非同数問題に比べて学習頻度が多く、そのため記憶検索が有利に行われるとする学習頻度説を提案している。

基本的には、同数問題と非同数問題の出現頻度の差分が、加法と乗法で大きく異なるとは考えにくい。同数問題と非同数問題の出現頻度の差分が、加法と乗法で等しいとすれば、真偽判定課題の同数効果量は、加法と乗法で等しいことが予測される。

ただし、産出課題における加法と乗法の同数効果量を比較した結果、やや乗法の方が大きいとの指摘もある(島田, 審査中)。この結果を出現頻度説で解釈した場合、何らかの原因で同数問題と非同数問題の学習頻度の差分が、加法よりも乗法の方が大きく、結果として乗法の同数効果量が多くなったと考えられる。

真偽判定課題の処理過程の議論の一説として、産出 + 比較説(Ashcraft, 1987)がある。産出 + 比較とは、たとえば 6 × 6 = 36 の真偽を判定する際、第一段階として 6 × 6 = ? の答えである 36 を検索する産出処理を行い、その後産出された 36 と提示された 36 を比較することで、真偽の判定がなされるとされる。真偽判定課題の産出 + 比較処理を考えると、乗法の同数効果量がやや多くなることが予測される。この産出 + 比較仮説の妥当性も、結果から補助的に吟味することとする。

本研究の目的は、以上の 3 つのモデルより予測される真偽判定課題の加法と乗法の同数効果量を測定することで、モデルの妥当性を検討することである。

【方法】

成人 22 名が実験に参加した。年齢は 18 歳から 24 歳まで、平均 21 歳であった。

実験はコンピュータにより制御された。実験材料はコンピュータディスプレイに提示された。被験者の反応はキーボードから入力された。

材料として、加法と乗法それぞれ 64 種類の問題が準備された。これらの問題の演算数は 2 から 9 までの数が用いられており、56 種類が非同数問題、8 種類が同数問題であった。これらの問題それぞれについて、正解と不正解の答えが組み合わされた。正解は、該当する問題の答え、不正解は該当する問題の答えに近い数から任意に設定された。不正解は 2 種類設定された。これにより、128 種の問題に対して 1 種類の正解問題と 2 種類の不正解問題の、合計 384 問題が準備された。

正解問題を 2 回、不正解問題を 1 回の合計 512 の問題に対する反応を被験者に求めた。512 種の問題は、被験者ごとにランダムに 2 つのブロックに分けられ、休憩をはさみ 256 種の問題に答えるブロックが 2 度繰り返された。

実験のはじめに、被験者は 20 試行の練習を求められた。練習問題は、512 種の問題から被験者ごとにランダムに選ばれた。被験者が特定のキーを押すことで、1 試行が始められた。次に、750 ms の注視点(aaaaaa)が提示された。その直後に、「a + b=c」の形式で真偽判定問題が提示された。被験者は、その真偽判定問題が真か偽かを、できるだけ速く正確に答えることを求められた。被験者が真偽に割り当てられたキーを押すことで、問題がディスプレイから消去され、次の試行に移った。

問題が提示されてから反応が生じるまでの時間と、押されたキーがコンピュータによって記録された。実験に要した時間は平均して 30 分程度であった。

【結果】

真反応を求められる正解刺激に対する 256 回の反応が分析対象とされた。誤答率は 6.7%であった。正答に対する反応時間について分析が行われた。反応時間の分析にあたっては、常用対数変換後の数値が用いられた。個々の被験者ごとに、平均から 3SD 以上の距離がある反応は、異常反応として分析から除外された。

分析対象の数値は、2(演算:加法,乗法)×2(同数・非同数:同数,非同数)の合計 4 条件に振り分けられ、被験者ごとにそれぞれの条件の平均値が求められた。4 条件に対する全被験者の平均反応時間の幾何平均値を Figure 1 に示す。

上記のデータに 2(演算:加法,乗法)×2(同数・非同数:同数,

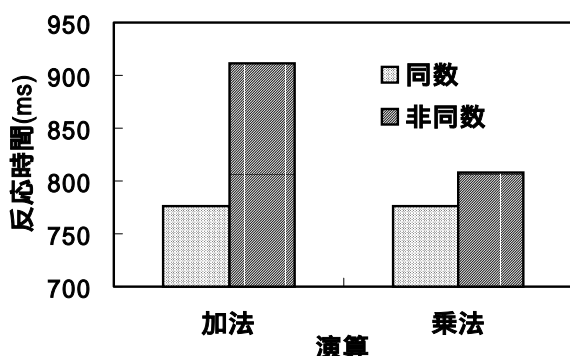


Figure 1: 演算ごとの同数・非同数問題の平均反応時間

非同数)の 2 要因被験者内分散分析を施したところ、演算の主効果、同数・非同数の主効果、および交互作用が有意であった(順に、 $F(1,21)=26.32$, $MSE=0.0005$, $p<.01$; $F(1,21)=24.70$, $MSE=0.0016$, $p<.01$; $F(1,21)=32.53$, $MSE=0.0004$, $p<.01$)。演算条件の加法と乗法の各水準ごとに、同数・非同数の単純主効果の検定を行ったところ、加法と乗法の両水準ともに有意であった(それぞれ、 $F(1,21)=37.65$, $MSE=0.0014$, $p<.01$; $F(1,21)=4.39$, $MSE=0.0007$, $p<.05$)。

【考察】

分析の結果、加法と乗法ともに同数効果がみられることが明らかになった。重要な結果は、同数問題と非同数問題の反応時間の差分で定義される同数効果量が、加法の方が大きかった点にある。この結果は、加法・乗法非対称説のみが予測可能であり、加法と乗法の同数効果量に差がみられないことが予測される学習頻度説と符号化優位説はともに支持できない。

また、真偽判定課題が産出 + 比較により解決されているというモデルは支持できない。なぜなら、産出課題の反応時間の予測に学習頻度説を採用した場合に予測される、加法と乗法の同数効果量に差がないという仮定を採用したとき、真偽判定課題は産出 + 比較により行われているとする説は、加法と乗法の同数効果量が等しいことを予測するためである。さらに、産出課題の同数効果量は乘法の方がやや大きいという指摘(島田、審査中)を仮定しても、真偽判定課題の同数効果量は加法の方が大きいという点に矛盾する。したがって、真偽判定課題が産出 + 比較により解決されているとするモデルは支持できない。

本研究でみられた同数効果量が加法の方が大きいという結果と、産出課題においては同数効果量は等しいか、乘法の方がやや大きいというこれまでの研究の結果(Blankenberger, 2001; 島田、審査中)を考慮すれば、産出課題と真偽判定課題では、同数効果の生起因として異なった説明を与える必要がある。

その可能性の一つとして、島田(審査中)は、真偽判定課題については、上述の連合強度によって決定するとして、同数効果を説明している。一方、産出課題については、干渉強度を仮定することで統一的な説明を可能にしている。干渉強度とは、たとえば 3×5 を解決する際に、 3×4 のような類似する問題の答えである 12 が、正解である答え 15 に干渉する程度を示す。この干渉強度は、加法においては同数問題と非同数問題で差がないが、乗法ではその差が大きいとされ、島田(審査中)の計算モデルによるシミュレーションによって、反応時間の予測がなされている。

【引用文献】

- Ashcraft, M. H. 1987 Children's knowledge of simple arithmetic: A developmental model and simulation. In J. Bisanz, C. J. Brainerd, & R. Kail (Eds.), *Formal models in developmental psychology: Progress in cognitive development research*. New York: Springer-Verlag. Pp. 302-338.
- Blankenberger, S. 2001 The arithmetic tie effect is mainly encoding-based. *Cognition*, **82**, B15-B24.
- 島田英昭 審査中 1 桁の加法・乗法の暗算処理メカニズム - 連合強度と干渉強度の 2 要因モデルによる検討 -
- 島田英昭・海保博之 2003 心的演算処理研究の諸問題とその議論 筑波大学心理学研究, **25**, 51-67.
- (SHIMADA Hideaki mailto:hshimada@human.tsukuba.ac.jp)