暗算処理における和・積の自動的活性化¹ ——SOA, 問題サイズ, 演算記号提示の効果の検討——

筑波大学 島田英昭²

Automatic activation of addition and multiplication facts: An examination of effects of SOA, problem size, and presentation of operator symbol

Hideaki Shimada (Institute of Psychology, University of Tsukuba, Tennodai, Tsukuba 305-8572)

The purpose of this study was to examine boundary conditions and time course in automatic activation of addition and multiplication facts. Utilizing a number-matching task in which subjects were required to verify whether a target had been presented in a previously viewed number pair, the stimulus onset asynchrony (SOA), problem size, and operator symbol were manipulated. As a result, products were rejected more slowly than unrelated numbers in all problem size conditions, but sums were rejected more slowly than unrelated numbers only in small size condition, and this effect was not related to SOA and operator symbol. These results suggest that (a) automatic activation is restricted to small facts in addition, but not restricted in multiplication, (b) operator symbols have no effect on automatic activation, and (c) time course in automatic activation of addition facts does not differ from that of multiplication facts.

Key words: automatic activation, number-matching task, single-digit addition and multiplication, time course.

1 桁の加法と乗法の暗算処理（例えば，“3+4”に答える）をめぐるのは，問題や答えの数が大きくなるほど反応時間が長くなる問題サイズ効果（problem size effect），あるいは，同じ数どうしの問題であると反応時間が短い同数効果（tie effect）など，問題タイプごとの反応時間の違いがなぜ起きるのかについて議論が行われてきた（例えば，Ashcraft, 1987; Campbell, 1995; Siegler, 1988；レビューとして，Ashcraft, 1995; McCloskey, Harley, & Sokol, 1991；島田・海保, 2003）。

LeFevre, Bisanz, & Mrkonjic (1988) は，数照合課題を用いて，成人の暗算処理における和の自動的活性化の存在を実験的に検討した。この研究は，成人の暗算処理に用いられる方略が，カウンティングのような手続き的方略なのか，それとも長期記憶から直接答えを検索するファクト検索方略なのかという問題を解決するために行われたものである。

この実験では，最初に“2+4”のような数式（先行刺激）が提示され，その直後に一つの数（ターゲット）が提示された。ターゲットが先行刺激に含まれる

数（“2”または“4”）であれば真反応を，それ以外の数であれば偽反応を被験者は求められた。先行刺激の提示からターゲット提示までの SOA（stimulus onset asynchrony）は，60 ms から 480 ms の間で，60 ms ごとに設定された。その結果，SOA が 60 ms と 120 ms の条件に限り，ターゲットが2数の和（“6”）である条件は，ターゲットが無関連数（例えば“9”）である条件に比べて反応時間が長いことが示された。

この課題では，先行刺激の2数の和を求めることが課題要求とされていないので，この結果は，和の非意図的な，あるいは自動的な検索が行われていることを示唆している。カウンティングのような手続き的方略は，非意図的な状況で生起するとは考えにくい。したがって，暗算処理にはファクト検索方略が用いられていると結論づけられた。数照合課題によりみられたこの現象は，意図的な和の検索を求めていることから，和の自動的活性化（あるいは，強制的活性化）と解釈された。

計算モデルによるシミュレーションを含む理論的研究（例えば，Ashcraft, 1987; Campbell, 1995; Siegler, 1988）では，ファクト検索のモデルとして，Figure 1 に示すような，ネットワークモデルが用いられている。ノードとして，問題とその答え，および誤りとして出力される可能性のある答えの候補を仮定する。リンクとして，問題とその答えとの連合（Figure 1 の

¹ 本研究は筑波大学大学院博士課程心理学研究科に提出された中間論文の一部を加筆・修正したものである。本研究の一部は，日本教育心理学会第42回総会において発表された。

² 本論文の作成にあたり，筑波大学心理学系海保博之先生にご指導いただきました。ここに感謝いたします。

(A)), および答え以外の数との連合 (Figure 1 の (B)) を考えることができる。LeFevre et al. (1988) の結果をこの枠組みで解釈すれば、二つの数とその和との連合は、和以外の数との連合よりも強く、活性化拡散がより強く起き、これによって反応時間に差がみられたと考えることができる。

暗算処理を自動的な過程と意図的な過程に分離したとき、通常暗算処理は、この二つの過程が相互に作用することにより行われると考えられる。この二つの過程を分離することにより、より詳細な暗算処理過程のモデル化が期待される。そこで、本研究では、数照合課題を用いることにより、暗算処理の自動的な側面の特性を検討することを目的とした。

本研究の第1の目的は、暗算処理に重要である次の二つの変数を操作し、自動的活性化の生起条件を同定することである。

一つは、問題サイズの効果である。例えば、ネットワーク検索モデル (Ashcraft, 1987) やネットワーク干渉モデル (Campbell, 1995) では、問題サイズ効果の説明に最も重点が置かれている。その一方で、LeFevre et al. (1988) では、和の自動的活性化の存在を示すことが第1の目的であったため、答えが1桁となる和について検討が行われたのみである。また、Thibodeau, LeFevre, & Bisanz (1996) は、積の自動的活性化を検討したが、問題サイズごとの比較を行っていない。本研究では、問題サイズを操作した上で、和と積の自動的活性化の生起条件を同定した。もし、問題サイズ効果が自動的側面の影響によるものとすれば、問題サイズが大きくなるに従って、自動的活性化が弱くなり、和や積の反応時間の遅れが小さくなることが予測される。

もう一つは、先行刺激において提示される演算記号の種類の効果である。これまでの研究では、先行刺激において提示されない場合 (“2 3”) と、提示される場合 (“2+3”) の2通りが用いられてきた。LeFevre et al. (1988) は、“+”の提示は、和と無関連数の反

応時間の差に影響を及ぼさなかったことを報告した。LeFevre et al. (1988) によって検討された和に対する“+”の効果に加え、本研究では積に対する“×”の効果、および和に対する“×”、積に対する“+”の効果も検討した。

本研究の第2の目的は、和と積における自動的活性化の時間特性の違いを検討することである。和と積の時間特性の違いに対して、Thibodeau et al. (1996) は、積の自動的活性化は和に遅れて生起するとした。その証拠として挙げられているのは、二つの実験を比較した際の SOA による反応時間の違いである。LeFevre et al. (1988) とほぼ同様の手続きで行われた LeFevre & Kulak (1994) の実験では、SOA が 40 ms と 60 ms のみで和と無関連数の差がみられ、それ以上の SOA では差がみられなかった。一方で、積について検討した Thibodeau et al. (1996) は、SOA が 100 ms と 120 ms で無関連数との差がみられた。

しかし、このように考えるためには、以下の点で検討の余地がある。第1の問題点は、積を検討した Thibodeau et al. (1996) は 100 ms よりも短い SOA で検討をしていないことである。そこで、本研究では、100 ms よりも短い SOA を含めて和と積を比較した。

第2に、これまでの実験結果から和と積の時間特性を比較するには、実験手続きにおけるいくつかの相違点がある。例えば、Thibodeau et al. (1996) にあり LeFevre & Kulak (1994) にないものとして、先行刺激とターゲットの間のマスク刺激、先行刺激における2桁の数の提示などがある。こうした違いが結果に影響を及ぼしている可能性がある。本研究では、和と積に対して同一の条件で実験を行うことにより、より頑健に比較ができるようにした。

以上二つの目的に加えて、本研究では、問題サイズごと、あるいは和と積の演算ごとに、問題からその答えに対する自動的活性化拡散の相対的な強さ、およびその時間特性を吟味した。

代表的な暗算処理モデルであるネットワーク検索モデル (Ashcraft, 1987) では、問題とその答えに対する連合の強さが、暗算処理の反応時間に反映されるとしている。例えば、問題サイズ効果は、小さな数の問題は大きな数の問題に比べて、問題と答えの連合が強いことにより生ずると説明される。

問題サイズや演算ごとの活性化拡散の強さの相対的な違いは、答えに対する反応時間の差異として現れると考えられる。つまり、活性化拡散が強い条件では、弱い条件よりも反応時間が長くなると考えられる。この際、従来の研究のような、答えと無関連数との差分をもとにした議論では、和や積の反応時間が変化しているのか、それとも無関連数の反応時間が変化しているのか、分離ができない。したがって、答えと無関連

Figure 1. Network model.

数との差分をもとにした議論では、問題サイズや演算ごとの活性化拡散の相対的な違いを議論するための分析方法としては不十分である。

そこで、本研究では、各条件ごとの和と積に対する反応時間の違いを直接比較した。これによって、問題サイズごとの和と積の自動的活性化の相対的な強さ、およびその時間特性を吟味した。

方 法

被験者 大学生および大学院生 12 名が実験に参加した。年齢は、21.8 歳から 24.2 歳まで（平均 23.1 歳）であった。

実験装置 パーソナルコンピュータ（シャープ製 MN-385-001）を用いて実験が制御され、反応の入力にはキーボード（富士通製 FMV-KB321）が用いられた。刺激は 17 インチ CRT ディスプレイ（富士通製 FMV-DP-97Y5）に提示された。

材料 2—9 までの数の中で、二つの数の重複しない組み合わせである 28 組の中から、12 組の先行刺激が選ばれた。この 12 組は、問題サイズに関して、小・中・大の 3 条件に、4 組ずつ割り振られた。それぞれの条件で用いられた数は、小条件が 2—5 の数どうしの組み合わせ、中条件が 2—5 と 6—9 の中から一つずつの組み合わせ、大条件が 6—9 の数どうしの組み合わせであった。

2 数の組み合わせを先行刺激とし、個々の先行刺激に対するターゲットとして、正解ターゲットと不正解ターゲットが作成された。正解ターゲットは、二つの数を x, y としたときに、 $x, y, 10x+y, 10y+x$ である。例えば、“3”と“4”の組み合わせに対して、“3”、“4”、“34”、“43”の四つがあり、これらの数に対して被験者は正解のキーを押すことを求められた。

不正解ターゲットは、以下の 2 種類が作成され、被験者は不正解のキーを押すことを求められた。一つは、答えターゲットであり、先行刺激の和と積である（例えば“3 4”に対して順に、“7”、“12”）。また、自動的活性化の生起をみるために、無関連ターゲットが作成された。無関連ターゲットは、それぞれ和と積に大きさが近いものから任意に設定された（例えば、“3 4”に対して順に、“5”、“11”）。

最後に、先行刺激において、2 数のみを提示する演算記号なし条件（例えば、“3”と“8”を“3 8”と提示）に加えて、2 数間に演算記号“+”、“×”を挿入した+条件（“3+8”）、×条件（“3×8”）が作成された。

先行刺激の全体の大きさは、視角にして横約 10 度、縦約 1.7 度であった。また、数字 1 文字の大きさは横約 1.1 度、縦約 1.7 度であった。

手続き 被験者が任意のキーを押すことで試行が始まり、最初に、750 ms の注視点（“aaaaa”）が提示さ

れた。先行刺激の提示開始からターゲットの提示開始までの SOA は、80 ms, 140 ms, 200 ms の 3 条件が設定された。ターゲットが提示されたとき、被験者は正解・不正解のキーをできるだけ速く、正確に押すことを求められた。はじめに 20 試行の練習が行われた。20 試行の練習で、課題に対して適切な反応が得られないとみなされた被験者に対しては、さらに 10 試行以内の練習が追加された。練習の後、演算記号なし条件ブロックを最初に、その後+条件ブロックと×条件ブロックを行った。各ブロックでの試行数は 12（先行刺激：問題サイズによる 3 条件に対し、それぞれ 4 刺激）×8（ターゲット：正解・不正解ターゲットそれぞれ四つずつ）×3（SOA）=288 試行である。+条件ブロックと×条件ブロックの順序はカウンターバランスされた。また、ブロック内の刺激の提示順序は被験者ごとにランダム化された。実験に要した時間は、被験者の年齢を尋ねる質問の時間を含め、平均 40 分程度であった。

実験計画 2（ターゲット条件：答え、無関連数）×2（演算：和、積）×3（問題サイズ：小、中、大）×3（演算記号：なし、+、×）×3（SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms）の 5 要因計画。すべての要因が被験者内要因であった。

結 果

不正解ターゲットが提示された試行に対する反応のみを分析対象とした。

実験者の誤りにより、5 184 試行中、3 人の被験者の合計 27 反応（全体の 0.52%）が分析から除かれた。また、誤答率がきわめて低かったため（全 5 157 試行中 151 試行、2.9%）、誤答については分析を行わず、正答の反応時間のみの分析とした。反応時間はすべて常用対数変換後の数値を用いて統計的分析がなされた。各被験者に対して、不正解ターゲットに対する正答の反応時間全体の中で、平均から 3SD 以上の距離のある反応は、異常反応として分析から除かれた。その結果、1.3%が分析から除かれた（5 006 試行中 243 試行）。各条件ごとの平均反応時間を Table 1 に示す。以下、自動的活性化の生起条件、自動的活性化の時間特性、答えターゲットの反応時間に関する吟味の順で分析結果を述べた。

自動的活性化の生起条件 自動的活性化の生起条件をみるために、2（ターゲット条件：答え、無関連数）×2（演算：和、積）×3（問題サイズ：小、中、大）×3（演算記号：なし、+、×）×3（SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms）の 5 要因分散分析を行い、ターゲット条件の主効果と関連する交互作用について検討した。その結果、ターゲット条件の主効果、およびターゲット条件と問題サイズの交互作用、ターゲット条件と演算の交互作用がみられた（順に、 $F(1, 11) = 46.66$ 、

Table 1
Geometric means of reaction times (ms) as a function of operator symbol,
target answer, problem size, and SOA

Operator symbol	Target	Problem size	SOA		
			80 ms	140 ms	200 ms
Blank	Sum	Small	664/639	645/594	576/554
		Medium	609/613	577/570	545/523
		Large	591/628	581/580	550/520
	Product	Small	625/592	593/548	598/525
		Medium	668/591	612/552	616/527
		Large	673/618	593/575	593/576
+	Sum	Small	608/537	539/520	511/495
		Medium	538/534	478/479	479/473
		Large	522/521	486/485	469/487
	Product	Small	566/521	557/487	507/482
		Medium	585/526	533/518	508/488
		Large	589/546	560/505	536/489
×	Sum	Small	577/556	535/526	502/485
		Medium	539/534	499/479	471/465
		Large	533/527	513/489	479/491
	Product	Small	583/513	552/480	524/474
		Medium	621/545	546/498	509/481
		Large	601/545	562/525	563/508

Note. answer/unrelated conditions.

$MSe=0.0040$, $p<.01$; $F(2, 22)=5.55$, $MSe=0.0012$, $p<.05$; $F(1, 11)=18.16$, $MSe=0.0040$, $p<.01$). ターゲット条件に関連する他の交互作用は有意ではなかった。

ターゲット条件と問題サイズ、およびターゲット条件と演算の交互作用をさらに検討するために、2(演算：和、積)×3(問題サイズ：小、中、大)の合計6条件を分離し、それぞれの条件ごとに2(ターゲット条件：答え、無関連数)×3(演算記号：なし、+, ×)×3(SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms)の3要因分散分析を行った。演算と問題サイズの各条件について、正解ターゲットと無関連ターゲットに対する平均反応時間を、Figure 2に示す。分散分析の結果、和では問題サイズ小条件のみにターゲット条件の主効果がみられたが($F(1, 11)=9.58$, $MSe=0.0026$, $p<.05$)、問題サイズ中、大条件ではみられなかった(それぞれ、 $F(1, 11)=1.84$, $MSe=0.0011$; $F(1, 11)<1$, $MSe=0.0019$)。一方で、積では、すべてのサイズの条件で、ターゲット条件の主効果がみられた(順に、 $F(1, 11)=47.33$, $MSe=0.0021$, $p<.01$; $F(1, 11)=57.38$, $MSe=0.0015$, $p<.01$; $F(1, 11)=10.76$, $MSe=$

Figure 2. Geometric means of reaction times as a function of problem size, operation, and target condition. (PRD means product, ANS means answer target, and UNR means unrelated target.)

0.0055, $p < .01$).

以上の結果から、自動的活性化の生起条件に関しては、次のように結論づけられる。積に関しては、すべての条件で自動的活性化が生じた一方で、和に関しては問題サイズ小条件のみに限られることが明らかになった。また、この効果に関しては、提示された演算記号の種類には無関連であることが示された³。

自動的活性化の時間特性 上記の分散分析では、SOA とターゲット条件の交互作用はみられなかった。よって、少なくとも 80 ms から 200 ms の間では、答え条件と無関連数条件の間に相対的な変化はないことが示された。

同一の提示条件で和と積を比較した本研究の結果により、答え条件と無関連数条件の間の反応時間のパターンに違いはないことが示された。したがって、積の自動的活性化は和に遅れて生起するという Thibodeau et al. (1996) の解釈は支持することができず、和と積の自動的活性化には、少なくとも 200 ms 以内の SOA では、時間的变化に差はないと結論づけることができる。

答えターゲットに関する吟味 答え条件の特性を詳細にみるために、無関連ターゲットを除き、2(演算：和、積)×3(問題サイズ：小、中、大)×3(演算記号：なし、+、×)×3 (SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms) の 4 要因分散分析を行った。

まず、問題サイズの効果に関しては、問題サイズの主効果、および問題サイズと演算の交互作用が有意であり (それぞれ、 $F(2, 22) = 10.24$, $MSe = 0.0013$, $p < .01$; $F(2, 22) = 19.78$, $MSe = 0.0021$, $p < .01$)、その他問題サイズに関する効果はみられなかった。Figure 2 に、問題サイズと演算ごとの答え条件の平均反応時間が示されている。問題サイズと演算の交互作用に対して、単純主効果の検定を行った結果、問題サイズ条件の中、大水準における演算の単純主効果、および、演算条件の和水準における問題サイズの単純主効

果が有意であった (順に、 $F(1, 33) = 32.88$, $MSe = 0.0027$, $p < .01$; $F(1, 33) = 46.51$, $MSe = 0.0027$, $p < .01$; $F(2, 44) = 29.21$, $MSe = 0.0017$, $p < .01$)。和水準における問題サイズの単純主効果に対する多重比較 (WSD 法, 5% の有意水準, 以下同様) の結果、問題サイズ小と中、および小と大の間に有意な差がみられた。

この結果をネットワークモデルにより解釈すれば、反応時間が長いことは、問題から和や積に対する連合が強く、活性化拡散が強く起こると考えることができる。したがって、問題から和や積に対する自動的活性化拡散は、全体的に積の方が強く、問題サイズごとの変化は、積ではないが、和ではサイズが大きくなるにしたがって弱くなると考えられる。特に、無関連数との比較の結果から、問題サイズが中、大である和に関しては、自動的な活性化拡散が弱くなる、あるいはなくなると考えることができる。

次に、提示された演算記号の種類の効果に関しては、演算記号の種類の主効果が有意であった ($F(2, 22) = 35.63$, $MSe = 0.0060$, $p < .01$)。これ以外に演算記号に関連する交互作用はみられなかった。それぞれの演算記号条件における平均反応時間は、演算記号なし条件が 605 ms, +条件が 530 ms, ×条件が 538 ms であった。多重比較の結果、演算記号なしと+の間、演算記号なしと×の間にそれぞれ有意な差がみられた。

和と積ともに自動的活性化がみられた問題サイズ小条件についてのみ、2(演算：和、積)×3(演算記号：なし、+、×)×3 (SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms) の 3 要因分散分析を行った結果も、演算記号の種類に関する有意な効果は、演算記号の主効果のみであり ($F(2, 22) = 21.10$, $MSe = 0.0031$, $p < .01$)、その他の演算記号に関する効果はなかった。さらに、演算記号なし条件を除き、+条件と×条件のみに 2(演算：和、積)×3 (問題サイズ：小、中、大)×2(演算記号：+、×)×3 (SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms) の 4 要因分散分析を行った結果、演算記号に関連する効果は、いずれも有意ではなかった。

演算記号がない条件で反応時間が長かったのは、すべての被験者に対して最初のブロックにおいて試行が行われていたことによる練習効果であると考えられる。重要なのは、+条件と×条件で変化がみられなかったことである。つまり、和や積の自動的活性化拡散においては、提示された演算記号が+であるか×であるかには無関連であることが示唆された。

最後に、時間特性に関して、先ほど行った無関連ターゲットを除いた 4 要因の分散分析では、SOA の主効果のみ有意であり ($F(2, 22) = 56.37$, $MSe = 0.0024$, $p < .01$)、これ以外に SOA に関する有意な効果はみられなかった。Figure 3 に、SOA と演算ごとの平均反応時間を示す。

³ 問題サイズ中条件の積においてのみ、ターゲット条件と演算記号の交互作用が有意であった ($F(2, 22) = 3.61$, $MSe = 0.0041$, $p < .05$)。この交互作用が、各演算記号条件のいずれの条件に基づくのか、特に、+条件と×条件の違いが重要な影響を持つのかを検討するために、演算記号なし条件を除き、2(ターゲット条件：答え、無関連数)×2(演算記号：+、×)×3 (SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms) の 3 要因分散分析を施した。その結果、ターゲット条件と演算記号の交互作用はみられなかった。したがって、上述の分析でみられた交互作用は、演算記号なし条件に基づくものであると考えられる。この結果は、提示された演算記号の種類に自動的活性化の生起は影響されないという本研究の結論に合致するといえる。問題サイズ中条件の積のみで上記の交互作用がみられたことに関しては、その原因は不明である。問題サイズ中条件のみで上記の交互作用がみられることは解釈が難しい。この点を考慮すれば、この交互作用は偶然誤差による可能性が高いと考えられる。

和と積とともに自動的活性化がみられた問題サイズ小条件のみに対して、2 (演算：和，積) × 3 (演算記号：なし，+，×) × 3 (SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms) の3要因分散分析を行ったところ，SOAに関する効果は主効果のみであった ($F(2, 22) = 53.89$, $MSe = 0.0009$, $p < .01$)。また，サイズの大きな答えは活性化が遅れるという仮説 (Thibodeau et al., 1996) を検討するために，すべての問題サイズ条件で自動的活性化がみられた積についてのみ，3 (問題サイズ：小，中，大) × 3 (演算記号：なし，+，×) × 3 (SOA：80 ms, 140 ms, 200 ms) の3要因分散分析を行ったところ，SOAに関する効果は主効果のみであった ($F(2, 22) = 22.94$, $MSe = 0.0027$, $p < .01$)。

SOAの主効果に関しては，反応までの準備時間の反映と解釈することができよう。重要なのは，その他の変数との交互作用がなかったことである。つまり，問題から答えの活性化拡散過程において，和と積において，時間的なパターンの違いはないことが明らかになった。

考 察

問題サイズの変数に対して，本研究では積に対する影響がみられなかった。一方で，通常の産出課題 (例えば，“3×4”に答える) では，積に関する問題サイズ効果が頑健にみられることが示されている (例えば，レビューとして，島田・海保，2003)。

ネットワーク検索モデル (Ashcraft, 1987) では，問題サイズが増加するにつれて問題と答えの連合が弱まると仮定し，問題サイズ効果を説明している。しかし，本研究でみられた積の問題サイズの効果の消失から，産出課題の反応時間と連合の強さの直接的な関係を考えることはできない。なぜなら，乗法の問題と答えの連合が，問題サイズが増加するにつれて弱くなるとする仮定からは，本研究の問題サイズの効果の消失

は予測できないからである。

この点を改良できる可能性として，ネットワーク干渉モデル (Campbell, 1995) が提唱するような干渉の仮定が挙げられる。このモデルでは，産出課題の解決は，はじめに解決対象の問題の答えとその問題に類似する問題の答えの初期的な活性化が起き，その後にそれらの答え候補間の競合，すなわち実際の答えへの干渉処理により反応時間が決定するとしている。そして，反応時間に大きく影響を与えるのは，実際の答えに対する答え候補の干渉の強さであるとされる。この枠組みから本研究の結果を解釈すれば，自動的な活性化拡散の強さの違いは，初期的な活性化の強さの違いであると考えることができる。そして，干渉が意図的な状況で生起するとすれば，積の初期の活性化は問題サイズごとの違いはないが，その後の干渉過程の違いにより，産出課題の反応時間に差が生ずると説明できる。

積の問題サイズの効果の消失に対して和では，答えターゲットのみの比較において，問題サイズが増加するに従って反応時間の減少がみられた。Campbell (1995) が行ったネットワーク干渉モデルのシミュレーションでは，問題と答えの初期的な活性化の強さは，問題サイズや演算による違いはないと仮定されている。しかし，本研究の自動的活性化拡散の強さを初期的な答えの活性化の強さと考えることで，より精緻なモデル化が期待される。

その可能性の一つとして，Campbell (1995) が行ったシミュレーションでは説明ができなかった加法と乗法におけるエラーの質的な違いを説明できる可能性がある。Campbell (1995) による産出課題の実験におけるエラーの質的分析では，加法の問題に積を答えてしまうエラーが，加法のエラー全体の23.1%であったことに対し，乗法の問題に和を答えてしまうエラーが6.4%と少なかった。ところが，Campbell (1995) のシミュレーションは，エラーがそれぞれ4.9%，6.1%であることを予測した。

全体的に積の反応時間が和よりも長かった本研究の結果をネットワーク干渉モデルの枠組みから考察すれば，加法の問題として提示された二つの数による積の初期的な活性化が比較的強く，本来の答えである和に強く干渉することで，加法の問題に積を答えてしまう頻度が高くなると考えられる。

この議論に対しては，本研究において演算記号の効果がみられなかった結果も重要である。つまり，加法の問題を解決する際も，演算記号の提示による積の初期的な抑制が行われず，積の干渉が強く起こると考えられる。また，演算記号は，初期的な活性化ではなく，その後の干渉過程で処理が行われると考えることができる。

最後に，和と積の時間特性の違いについて考察す

Figure 3. Geometric means of reaction times as a function of SOA and operation.

る。Thibodeau et al. (1996) は、積の自動的活性化が比較的長い SOA にみられたのは、ネットワーク干渉モデルの仮定する大きさの類似性の影響であると解釈した。大きさの類似性とは、産出課題の解決の際、答えとなる数が多い場合には、類似する問題の答えによる干渉が比較的強いという仮定である。

和と積の比較をより頑健に行った本研究では、和と積の違いはみられなかった。したがって、大きさの類似性を自動的、すなわち初期的な活性化拡散過程に仮定することは妥当ではない。大きさの類似性による干渉は、解決対象の問題の初期的な活性化ではなく、その後の干渉過程で仮定することが妥当であると考えられる。

要 約

本研究の目的は、和と積の自動的活性化の生起条件を同定することと、その時間特性を検討することであった。先行して提示された二つの数が、その後提示されるターゲットに含まれるかどうかを判断することを求められる数照合課題が用いられ、SOA、問題サイズ、演算記号が操作された。その結果、ターゲットが積である場合は、すべての問題サイズ条件において、無関連数である場合よりも判断までの反応時間が長かった。しかし、和の場合は問題サイズが小さい場合に限られた。また、この効果には、SOA および演算記号との関連はなかった。これらの結果から、(a) 和の自動的活性化は、問題サイズが小さな場合に限られるが、積の場合はすべての問題サイズで生起すること、(b) 演算記号は自動的活性化に影響を及ぼさないこと、(c) 自動的活性化の時間特性は、和と積では変化がないことが示された。

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.
- Ashcraft, M. H. 1995 Cognitive psychology and simple arithmetic: A review and summary of new directions. *Mathematical Cognition*, **1**, 3-34.
- Campbell, J. I. D. 1995 Mechanisms of simple addition and multiplication: A modified network interference theory and simulation. *Mathematical Cognition*, **1**, 121-164.
- LeFevre, J., Bisanz, J., & Mrkonjic, L. 1988 Cognitive arithmetic: Evidence for obligatory activation of arithmetic facts. *Memory and Cognition*, **16**, 45-53.
- LeFevre, J., & Kulak, A. G. 1994 Individual differences in the obligatory activation of addition facts. *Memory and Cognition*, **22**, 188-200.
- McCloskey, M., Harley, W., & Sokol, S. 1991 Models of arithmetic fact retrieval: An evaluation in light of findings from normal and brain damaged subjects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, **17**, 377-397.
- 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, H., & Kaiho, H. 2003 A review on mental arithmetic research. *Tsukuba Psychological Research*, **25**, 51-67.)
- Siegler, R. S. 1988 Strategy choice procedure and the development of multiplication skill. *Journal of Experimental Psychology: General*, **117**, 258-275.
- Thibodeau, M. H., LeFevre, J., & Bisanz, J. 1996 The extension of the interference effect to multiplication. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, **50**, 393-396.

—2001. 8. 9 受稿, 2003. 5. 10 受理—

Ashcraft, M. H. 1987 Children's knowledge of sim-