

## 算数障害児における認知的不全：作業記憶および読み障害との関連を中心に

### Cognitive deficits in children with mathematical disabilities: Contributions of working memory or reading disabilities

坂本 美紀\*

SAKAMOTO Miki

算数障害児に対する指導を考える上で、機能的な困難の実態と、その背後にある認知的な障害について知ることは重要である。算数の諸領域のうち、加算の計算や文章題においては、算数障害に関わる認知的不全やその発達に関する研究が行われている。本研究は、先行研究の知見に基づき、加算の計算や文章題を解決する際の、手続きや記憶検索の不全について、またそういった不全と概念的な理解や作業記憶との関連、読み障害を合併することの影響についてまとめた。さらに、認知心理学的な知見に基づいて、算数障害児に対する問題解決の指導を行った実証研究を紹介し、今後の課題について考察した。

キーワード：算数障害、認知的不全、作業記憶、読み障害

Key words : mathematical disabilities, cognitive deficits, working memory, reading disabilities

#### はじめに

算数障害 (arithmetic disabilities, mathematical disabilities; MD) は、学習障害の1つに位置づけられているが、その内容や範囲は多義的である (e.g. Fuchs, Fuchs, & Prentice, 2004; 熊谷, 1999)。熊谷 (1999) によれば、医学的な定義のうちICD-10では読み書きとは別の特異的な障害ととらえられ、内容は「加減乗除のような基本的な計算能力の習得」に限定されているのに対し、DSM-IVでは読み書きの障害と共存することが多いとされ、計算以外の内容も含まれている。Fuchs et al. (2004) は、算数障害の児童を対象とした研究において、簡単な加減算や、加減算の文章題を対象としたものが大部分を占めていること、研究の対象となった算数障害児、あるいは算数における学習困難 (mathematics difficulties; MD) を示す児童の選定基準が、研究者間で必ずしも一致していないことを指摘した。

1999年に文部科学省が定めた学習障害の定義では、「基本的には全般的な知的発達には遅れはないが、聞く・話す・読む・書く・計算する又は推論する能力のうち特定のものの習得と使用に著しい困難を示すさまざまな状態を指すものである」となっており、算数障害にかかわる能力として、計算に加え、(数学的な) 推論能力が挙げられた。推論能力の不全は、例えば文章題を解くことの困難として現れるものと考えられる。熊谷 (1999) は、複数領域の定義を比較検討した結果を踏まえ、算数障害を定義するにあたり、①計算障害にとどまらず、算数の

教科学習の領域を全て網羅する内容を含むべきであること、②計算以前の数概念の形成に関わる問題も含め、発達の視点を導入すること、③下位分類においては、認知障害の特徴に対応した指導へつながるような観点を含めることの3点が重要である、という提言を行った。Jordan, Hanich, & Uberti (2003) の主張にも、これと重なる点がある。彼らは、算数障害児の研究を行う際に考慮すべき問題として、①数学的思考の異なる側面にわたって、子どもの遂行を検討すること、②困難のパターンが異なる子どもを同定すること、③縦断的な文脈や、社会的な文脈で数学的思考を測定することを挙げた。これらの点を考慮して得られた知見は、算数障害児への学習指導を考える際の基盤を提供すると考えられる。

吉田・河村・吉川・柘植 (2003) では、学習上特別なニーズを持つ児童生徒に対してきめ細かな支援を行うためには、対象児がどこでどのようにつまづいているかを、教科別の視点のみならず、計算や図形、文章題といった領域の視点、さらには、一桁の加算はなんとか出来るが繰り上がりになるとつまづく、等の詳細な視点まで踏み込んでチェックすることが必要だと述べた。では、これまでの研究では、算数障害児における認知障害の特徴や下位分類、つまづきの傾向や原因に関して、どういうことが明らかになったのだろうか。本論文では、算数障害児における、機能的な困難の実態とその背後にある認知的な障害について検討した、近年の研究を概観する。

\*兵庫教育大学第1部 (教育臨床講座)

## 算数障害に関する研究の概観と本論文の構成

算数は、学校での教科学習において重要な位置を占める教科領域ではあるものの、研究の側面を見ると、算数障害は、読み障害 (reading disabilities: RD) ほど注目されてこなかった (e.g. Geary, 1993)。子どもの算数能力の発達についての認知心理学的研究が進歩するに伴い、それを理論的基盤として、算数障害や算数困難を持つ子どもを調べる研究が行われるようになった。例えば、Russell and Ginsburg (1984) は、算数に困難を抱える4年生を対象に、算数の異なる側面で、3～4年生の健常児との比較を行った。その結果、算数困難児は、暗算の方略、簡単な文章題を解く能力、筆算の能力など、様々な算数のスキルに関して、不全がないことが示された。彼らの遂行は、自分たちより年少の、3年生の健常児の遂行と、質的に類似していた。深刻な不全が見られたのは、数字を組み合わせる力と、基本的な演算を扱うが概念的に複雑な文章題を解く能力の2領域であった。

算数障害をもたらす中核的な不全についての検討をレビューしたGeary (1993) では、算数障害児が示す不全として、加算の九九などの数的事実 (number fact) を表象して記憶したり、意味記憶から検索したりすることの困難、数学的手続きの実行における問題、数的情報の視空間的表象における問題の、3タイプの不全があることを示した。本論文では、このうち、計算や文章題解決にかかわる手続きにおける困難とその認知的要因に焦点を絞り、児童を対象として行われた実験研究をレビューする。

なお、海外の研究論文においては、算数障害と算数困難とを区別せずに研究がレビューされていることが多い。冒頭で述べたように、そもそも算数障害児の選定に関する基準自体が研究によって様々であることを考え合わせ、本論文でも、算数障害についての研究と、算数困難についての研究とを、同列に扱って論を進めることとする。

算数障害に関する研究の多くは、主として、簡単な加算の計算や、加減算の文章題を対象として行われてきた。Geary (1993) は、算数の問題解決における算数障害児の特徴として、未熟な問題解決方略を使う、解決に時間がかかる、計算や検索の誤りが多い、という点を挙げた。そして、認知的観点からみて、算数障害児は以下の5つのコンポーネントスキルで不全が存在するとした。それは、手続き、記憶の検索、概念的知識、作業記憶、処理速度 (特にカウンティングの速度) における不全である。テスト課題の遂行は、このうち、手続きのスキルと記憶検索のコンポーネントに影響され、残る3つのコンポーネントは、手続きと記憶検索の基礎となるかそれらに影響を与えるものと仮定された。

本論文は、このモデルを受け、計算や文章題解決における不全の実態のほか、長期記憶における算数情報の表

象や想起における困難を中心として、不全に関わる認知的要因について検討する。あわせて、前出のJordan et al. (2003) が主張した、困難のパターンが異なる算数障害児の問題や、縦断的手法で検討された発達的变化についてまとめるとともに、指導に関する実証研究を概観する。

本論文ではまず、年少児を対象に、簡単な加算の計算や、加減算の文章題を解くスキルの不全について調べた一連の研究を紹介し、手続き、記憶の検索、カウンティングの知識、カウンティングの速度といったコンポーネントについて述べる。文章題解決におけるつまづきもあわせて紹介する。続いて、最近の研究で重視される、読み能力の統制の問題に触れ、読み障害 (RD) の有無により、算数障害児における上記のようなスキルの不全と発達がどう異なるかを比較検討した縦断調査を紹介する。

さらに、作業記憶の不全について検討した研究を概観する。算数に困難を示す子どもにおける作業記憶課題の遂行を、同年齢の通常の子どもや、能力が同程度である年少の子どもと比較した研究のほか、複雑な文章題を用いて、文章題の成績と作業記憶の指標との関連を調べたり、作業記憶をはじめとする測度から、文章題の成績の予測を試みたりした研究を紹介する。最後に、認知心理学的アプローチによる知見に基づいて、算数障害児に対する問題解決の指導を行った実証研究を紹介し、今後の課題について考察する。

## 計算における困難—手続きと記憶の不全

Gearyとその共同研究者は、算数障害児の認知スキルについての研究を行っている。Gearyらの一連の研究は、1桁の加算の問題を解く能力を、Sieglerの方略選択モデル (e.g. Siegler, 1996) に基づいて検討したものである。このモデルによれば、年少児であっても、問題解決において適応的に方略を選択しており、例えば、答えが記憶から検索できない場合は、指で数えるなどの代替方略を使って、正答にいたる可能性を高めている。小学1年生を対象とした研究 (Geary, 1990) では、同じ計算方略を用いていても、MD児は健常児よりも検索や計算のエラーが多く、採用する代替方略も未熟なものであることが明らかになった。2年生になってからのフォローアップ研究を行ったGeary, Brown, and Samaranayake (1991) では、健常児の場合は、1年生の時点に比べて、検索方略が増加し、指で数えるカウンティングの方略が減少したこと、また、正答が増え、スピードも速くなったことが示された。それに対し、算数障害児では、検索方略の使用が増えずカウンティング方略に頼り続けるなど、問題解決方略においても、カウンティングや検索の速度においても、1年生時点と同様のパターンを示していた。これに関連して、Geary et al. (1992) では、方略適用

の困難が、基本的なカウンティング原則、例えば一対一対応の原則や基数の原則などの学習における遅れと結びついていることを示した。なお、児童が持つカウンティングの知識と、方略使用における個人差との関連は、Gearyらのその後の研究でも検証されている（e.g. Geary, Hamson, & Hoard, 2000; Geary, Hoard, & Hamson, 1999; Geary, Hoard, & Byrd-Craven, 2004）。

Jordan and Montani (1997) は、先行研究の問題点として、被験者の選出にあたって、特別な算数困難を持つ児童と、学業全般で成績の振るわない児童—例えば、読みと算数の両方に困難を抱える児童—とを区別していないことを指摘した。彼らは、小学3年生の算数困難児を対象に、計算および文章題解決のスキルを検討し、後述するように、算数困難児の中でも、読解困難の有無により、遂行が大きく異なることを示した。

読み能力の統制という点に関し、Gearyらの最近の研究では、算数障害（MD）児と算数障害に読み障害を伴う（MD/RD）児童を区別して検討が行われている（Geary et al., 1999; 2000）。小学1～2年生を対象にした場合も、MD児とMD/RD児には差異が見られ、MD/RD児は、作業記憶関係の不全のほか、数、カウンティング、算数に広範囲の不全があるのに対し、MD児では、認知的不全のパターンは制限されていることが明らかになった。MD児に見られた不全は、順序無関連の原則などのカウンティング原則が十分理解されていないことと、数的知識を検索する際の困難、カウンティング手続きエラーの多さととどまった。

### 文章題解決における不全

文章題は、日常の問題を取り扱う上で必要な方略を選んで適用することを学習できるものと見なされている（e.g. Swanson & Beebe-Frankenberger, 2004）。文章題を解くプロセスは、問題理解と解決実行とに大別され、各プロセスでは様々な関連知識を想起し適用することが必要である。解決実行の正否にもかかわる問題理解においては、単語、フレーズ、文、命題を理解し、文章題についての、一貫した意味のある解釈を作り上げる必要がある、文章題解決を困難にする大きな要因となっている（e.g. Mayer & Hegarty, 1996）。

算数困難児においては、計算手続きの適用や知識の検索だけでなく、基本的な演算を用いて文章題を解く能力においても不全が見られる。例えば、Ostad (1998) は、加減算を扱う文章題において、小学2年、4年、6年のどの学年でも、MD児の遂行は健常児に及ばず、上の学年でも文章題の成績がそれほど高くなかったことを示した。Fuchs and Fuchs (2002) は、様々な文章題課題におけるMD児とMD/RD児の遂行の違いについて検討した。ここでは、小学4年生を対象に、難易度に影響する文脈

の現実性を操作し、3種類の問題解決課題を用意した。最も単純な、演算1回で解く加減算の文章題と、問題文が長めで、1～3回の演算で解く複雑な文章題、そして現実世界の問題解決である。最も困難な、現実世界の問題解決とは、本質的でない詳しい記述や、質問とは関連しない数値を含む、長めのテキストが、質問から離れた物語として提示され、1～3回の演算で解くものであった。3つの課題における遂行は、計算の正しさ等を反映した操作と、問題解決の2つの次元で、それぞれ得点化された。学校でMDとみなされている児童を、計算能力のテストを用いてスクリーニングし、抽出されたMD児を、読み能力のテストを用いて、RDを合併している群としていない群に分割した。分析の結果は次のとおりである。まず、どちらのMD児グループにおいても、複雑な文章題では簡単なものより成績が低下したことより、複数の演算が必要であることと、情報が豊富になることが、難易度に影響していることが示唆された。また、MD/RD児とMD児との差は、課題のタイプや遂行の次元によって異なり、簡単な文章題では、操作と問題解決の両次元で、MD群の成績がMD/RD群を上回ることが示された。一方、複雑な文章題および現実世界の問題解決においては、操作の次元では有意な群間差はなく、問題解決の次元で差が生じていた。この結果は、次節で詳述する、MD/RD児の不全に関する知見と一致するものである。

### 様々な算数領域における達成プロフィール—読みの困難がもたらす影響

Jordan and Montani (1997) は、読みおよび算数の達成度テストの結果に基づき、小学3年生の算数困難児を、算数のみのMDと読みの困難を伴うMD/RDとにわけ、同年齢の健常群との比較を行った。この研究では、加減算の能力を測定するにあたり、文章題の解決と加減算九九の想起との2課題を用いた。用いる計算は2課題で同一であり、2集合の合併あるいは分離を扱い、結果が未知数である単純なものと、変化量すなわち足す数あるいは引く数が未知数である複雑なものが用意された。この研究ではまた、基本的理解や方略適用に関連する困難と、すばやい想起に関連する困難とを区別するため、2つの課題の実施にあたり、時間制限条件と時間無制限条件とを設定した。時間無制限条件では、児童が各試行で用いた方略も記録された。分析の結果、文章題解決および加減算九九の両方において、MD群は、時間制限条件では健常児群より成績が悪かったが、時間無制限条件では差がなかった。MD/RD群は、どちらの条件でも、健常児群より成績が悪いことが明らかになった。時間無制限条件における解決方略では、MD群・MD/RD群ともに、健常児群よりも、代替方略に頼る傾向があった。しかし、

MD群はMD/RD群よりも代替方略を巧みに実行しており、時間無制限条件では健常児群と同等の達成を示すことができた。以上の結果に基づき、Jordanらは、MD群の不全は、知識の検索に限定されているが、MD/RD群は、問題の概念化や計算手続きの実行に関連する、より基礎的な遅れがあると考察した。

Jordanとその共同研究者は、この他にも、MDとMD/RD、RDの3グループの学習障害児における、算数能力とその発達についての検討を行っている。まず、Jordan and Hanich (2000) では、読みと算数に関するスクリーニングテストの結果に基づき、小学2年生において、3グループの学習障害児と健常児を抽出した。加減算の九九、加減の文章題、位取り、筆算の4つの課題を実施し、正答数の他、加減算九九と文章題では解決方略、位取りでは項目ごとの遂行、筆算では誤答を、それぞれ分析した。分析の結果、MD/RD児は、全領域で、健常児より遂行が悪いこと、MD児は、文章題と筆算で、MD/RD児の遂行を上回っていたこと、MD児が健常児に劣っていたのは、文章題解決のみであることが、それぞれ明らかになった。この研究では、文章題解決課題に、Jordan and Montani (1997) が用いた「変化」の文章題だけでなく、「結合」や「比較」などの文章題を加えた。より複雑な文章題を加えたことにより、先行研究の時間無制限条件では見られなかった群間差が生じたのであろうと考察されている。これより、MD/RD児の不全は数学的思考における広範囲の欠陥であるのに対し、MD児の場合は問題解決に限定した不全であることが示唆された。

同様の枠組みで、年少児における算数能力の発達を縦断的に検討した一連の研究 (Hanich et al. 2001; Jordan Kaplan, & Hanich, 2002; Jordan & Hanich, 2003; Jordan, Hanich, & Kaplan, 2003) では、読みと算数の能力を、2年生から3年生にかけて4回測定した。算数能力を測定する課題としては、言語で出題される計算、文章題、概算、位取り、計算の決まり、九九の想起、筆算が用いられ、いずれの課題も加減算を対象にしていた。小学2年生の時点では、全領域において、算数障害を持つ児童の遂行が健常児を下回っていること、そしてこのうち、言語による文章題解決においては、MD児の成績が、MD/RD児を上回っていることが明らかになった。この結果に基づき、MD児は、言語がかかわる領域ではMD/RD児より優れているが、その他の領域、すなわち数の大きさや視空間の処理、自動化が関与する領域では差がないと考察された。また、計算問題の解決方略において先行研究の知見と類似する群間差が見られたほか、MD/RD児には、文章題の誤答においても他と異なる特徴があり、複雑な文章題では、加算をデフォルトの解決方略として用いていることが明らかになった。2年生から3年生にかけての読みと算数の発達を、発達曲線モデル (growth-

curve model) により分析した結果からは、以下のことが明らかになっている。達成度テストの成績に関して、算数において、2年生ではMD児とMD/RD児はほぼ同等であったが、2年生後半ではMD児の成績がMD/RD児を上回り、3年生ではその差がさらに広がった。一方、読みの発達では、MD/RD児とRD児の間に差は見られなかった。これより、MD児の持つ読み能力が、算数能力の発達に影響したと考えられた。算数能力課題のうち、文章題解決では、3年生時点でも、MD児がMD/RD児を上回っていた。一方、加減算九九の想起、概算、位取り、筆算では、MD児とMD/RD児の差は3年生になるとなくなり、発達の速さに群間差は見られないことが明らかになった。これより、知識検索および計算の流畅さにおける不全が、算数障害に共通した特徴であることがわかった。

### 算数障害と作業記憶

作業記憶 (working memory) とは、情報を処理しながら、その情報あるいは他の情報を保持するシステムであり、キャパシティに上限があることが知られている。作業記憶は、以下の3つのコンポーネントからなるとされる。言語情報を一時的に蓄える音声ループ (phonological loop)、視覚・空間情報を短時間保存することや、メンタルイメージの生成と操作にかかわるとされる視空間スケッチパッド (visio-spatial sketchpad)、そして、以上2つの下位システムを制御し、長期記憶からリソースを引き出すことにかかわる中央実行部 (central executive system) である (e.g., Swanson and Sachse-Lee, 2001)。

算数障害児では、これまで述べてきた学習面でのつまずきや遅れの他に、短期記憶や作業記憶においても不全が見られる。例えば、Siegal and Ryan (1989) は、算数障害児が、カウンティングにかかわるスパンの課題では不全を示すが、他の言語形式の課題では不全を示さないことを明らかにした。Hitch and McAuley (1991) は、8～9歳の算数障害児を対象に実験を行い、課題が視空間的なものか聴覚的なものかに関わらず、算数障害児はカウンティングに関わる操作のスパンに問題があることを確認した。この研究ではまた、算数障害児において、カウンティングの速度が遅いことや、カウンティングの行動中に、数字を作業記憶に保持することが難しいことを明らかにした。Gearyらの研究でも、算数障害児は、健常児より数のスパンが小さいこと、カウンティング行動をモニターしながら、情報を保持することが困難であることが明らかになっている (Geary et al., 1991; 1999; 2004)。

#### (1) 算数障害児における作業記憶不全

算数障害児の作業記憶不全については、それが数に関する材料のみでのものか、全般的なものかについての検

討がなされている (e.g. Passolunghi & Siegel, 2004)。さらに、カウンティングスパンや他の作業記憶課題における差異をもたらしているメカニズムを解明する研究も行われている。例えば、数字を音声化するスピードのような、処理のスピードにおいて根本的な差があるとするもの (Bull & Johnston, 1997; Hitch & McAuley, 1991) の他、作業記憶の下位システムでの情報の表象がうまくいかないこと (Geary, 1993) や、中央実行部のコントロール (e.g. McLean & Hitch, 1999) に由来するものがある。

まず、学習障害児の作業記憶不全の特質について、言語の作業記憶と視-空間の作業記憶という観点から検討した、Swansonらによる研究を概観する。Swanson (1993) では、平均年齢10歳の児童を対象に、MD群・RD群のほか、年齢を対応させた対照群と達成度を対応させた対照群とを設定し、言語および視-空間の作業記憶を比較した。言語作業記憶の課題はリーディングスパンなどが、視-空間の作業記憶の課題としては視覚マトリクスなどが用いられた。課題の実施にあたっては、学習障害児の作業記憶不全の原因が、処理機能と貯蔵機能のどちらにあるのかを検討するために、記憶を高める手がかりを操作し、3つの条件を設定した。分析の結果、MDとRDの差は、言語作業記憶でも視-空間作業記憶でも見られず、また、学習障害児における作業記憶の遂行は、いずれの条件でも、年齢対応群を下回り、達成度対応群を上回った。このことより、学習障害児における作業記憶の不全は、障害のタイプにかかわらず全般的なものであり、実行システムにおける貯蔵の限界によることが示唆された。Keeler and Swanson (2001) の実験2では、平均年齢11歳のMD児における言語作業記憶と視-空間作業記憶を、同年齢の健常児および能力レベルが対応した健常児と比較した。その中で、MD児における作業記憶の遂行が、年齢対応群を下回り、能力を対応させた年少児と同じレベルであることを示すとともに、算数の達成度テストの遂行には、言語作業記憶と視-空間作業記憶の両方が寄与していることを明らかにした。被験者に大人を加えて、作業記憶と計算スキルとの関連を検討したWilson and Swanson (2001) では、算数能力の個人差は、大人でも子どもでも、言語作業記憶すなわち領域一般の作業記憶と、領域固有の作業記憶との双方によってもたらされることを明らかにした。

差異をもたらすメカニズムについては、以下のような研究がある。まず、Bull and Johnson (1997) は、短期記憶不全の根本原因を検討するため、7歳児を対象に、短期記憶と長期記憶、全般的な処理スピードを測定する課題を実施し、算数能力の高群と低群での比較を行った。課題は、短期記憶課題としてメモリスパンと発話速度が、処理スピードの測度として視覚的数マッチング課題

と線引き課題、知覚運動スピードが、長期記憶課題として数および文字の同定速度、系列化能力、1桁の加算が、それぞれ実施された。分析の結果、算数能力の低群は、数の同定速度、処理スピード、発話速度、系列化能力の各測度において、遂行が悪かった。読み能力を統制すると、短期記憶の群間差はなくなった。加算の問題においては、高群は低群よりも直接検索方略を多用し、検索時間には群間差がなかったこと、計算方略を用いた場合、低群は高群よりも誤りが多く、時間がかかることが、それぞれ明らかになった。重回帰分析の結果からは、算数の能力は、単語を読む能力で大半が説明されること、それ以外では、処理スピードのみが有意な予測因子であることがわかった。この研究において、算数障害の児童は、数値の同定や算数の手続きなどの操作を実行するスピードが遅いことが明らかになった。この知見を考察するにあたり、Bull and Johnson (1997) では、対象領域になじみがないこと、発達の遅れ、特に基本的な数的知識の自動化における遅れ、より根本的な処理スピードの不全といった要因を挙げるにとどまっている。

McLean and Hitch (1999) では、読みには問題はないが算数に特別な困難を示す児童を対象に、作業記憶の不全について詳細に検討した。この研究では、作業記憶の異なるコンポーネントを測定する課題バッテリーを用い、年齢対応および能力対応の健常児群との比較を通して、作業記憶不全が算数困難をもたらしていることを検証した。対象は3～4年生であり、計算問題からなる標準化テストと読みのテストにより、算数のみが困難な児童を判別した。課題は、音声ループを測定するものとして、数列スパンと非単語の復唱、視空間スケッチパッドに関するスパン課題を2課題、中央実行部の課題を3課題、そして全般的なリソースを測定する加算スパンが、それぞれ実施された。算数困難群と年齢対応統制群との差は、音声ループにかかわる課題を除く6つの指標で得られた。算数困難群と能力対応統制群との差は、中央実行部に関する1課題における所要時間のみで得られた。この課題は、長期記憶の情報を保持する中央実行部を測定するものであるため、この群間差は、長期記憶との相互作用をコントロールする中央実行部あるいは長期記憶での不全を反映するものと考察された。以上の結果に基づき、McLeanらは、作業記憶における実行および空間の側面における不全が、算数困難の重要な要因であると述べた。

## (2) 作業記憶と文章題解決との関連

作業記憶と、文章題解決の遂行との関連についてはどうだろうか。例えば、単純な加減算の文章題を理解するプロセスをモデル化した研究 (Leblanc & Weber-Russell, 1996) では、問題文の "ボトムアップ" 的な理解には、作業記憶が使われることを示している。しかしながら、児童生徒を対象にした先行研究では、両者の関連を認め

た研究ばかりではない。例えばSwanson, Cooney, & Brock (1993) では、小学3～4年生の健常児を対象にした実験により、作業記憶と文章題解決の正答率には弱い関連しかなく、読解力を統制すると相関が有意でなくなったことを見出した。また、Kail and Hall (1999) は、短期記憶と作業記憶は文章題の成績と関連しているものの、処理スピードと読みのスキルを回帰式に入れた場合、スパン課題が文章題の成績を説明しなかったことを明らかにした。

これらの知見を踏まえ、Passolunghi and Siegel (2001) は、様々な課題を用いて、作業記憶および短期記憶と文章題解決との関連を検討するとともに、作業記憶の障害をもたらすメカニズムについて検討した。メカニズムの検討にあたっては、文章題解決の不得意な児童では、そうでない児童に比べ、無関係な情報の抑圧が必要な作業記憶課題の成績が悪かったという先行研究の知見 (Passolunghi, Cornoldi, & De-Liberto, 1999) に基づき、無関係あるいは必要でなくなった情報のコントロールや無視ができないことが、作業記憶の不全と関連しているという仮説のもとに検証を行った。小学4年生を対象に、算数の標準テストの成績をもとにスクリーニングを行って、問題解決の不得意群と、年齢・性別・語彙テストの得点を対応させた解決得意群とを設定した。言語を扱うものと数値を扱うものを含め、作業記憶課題と短期記憶課題をそれぞれ4課題ずつ実施した。なお、4つの作業記憶課題には、Siegal and Ryan (1989) が用いた2課題と同じ課題が含まれていた。分析の結果、不得意群は、作業記憶課題において、言語情報と数値の情報のどちらに関しても、保持の困難を示したほか、短期記憶課題のうち、数値情報の直後再生の成績が悪いこと、関係ない情報の抑圧が必要な作業記憶課題で得点が低く、ターゲットでない語を再生してしまう侵入エラー (intrusion error) が多かったことが示された。これより、問題解決不得意群の作業記憶不全は全般的なものであること、また短期記憶にも不全が認められること、作業記憶不全をもたらす認知メカニズムは、無関係な情報の抑圧に関連していることが明らかになった。つまり、作業記憶システムのうち、おそらく中央実行部に問題があることにより、情報処理におけるアクセス抑圧がうまくいかず、文章題の解決が阻害されているというのである。

学習障害児を対象に、文章題解決のつまずきが作業記憶のどのコンポーネントに由来するのかについて検討した研究に、Swanson and Sachse-Lee (2001) がある。この研究では、文章題理解を、作業記憶と関連するテキスト理解と数学的処理との複雑な相互作用ととらえ、学習障害児を対象とした先行研究が多い計算の側面よりも、テキスト理解の側面に注目した。テキストの解読と理解は、作業記憶内の構音システムで行われるとされる。し

かし、学習障害児は、計算などを遂行する際に、音声ループをうまく使えないことが指摘されている (Hitch & McAuley, 1991; Siegal & Ryan, 1989)。このことより、音声情報の貯蔵に問題があるため、問題解決などの高次の処理がうまくいかないという考察と、中央実行部における制御機能自体に問題があるとする先行研究との両方を考慮し、この研究では、学習障害児が文章題解決でつまずくのは、構音システムと中央実行部の双方に原因があるとする仮説を立てた。研究対象は、アセスメントチームによって学習障害と診断された5、6年生であり、対照群として、年齢を対応させた群と、読み・算数能力を対応させた群とを設定した。課題としては、構音プロセスを測定する3課題、言語作業記憶と視-空間作業記憶を測定する課題のほか、文章題解決を、そのプロセスに沿って細かく測定する課題を作成した。ここで出題された文章題は、加算、減算、乗算をそれぞれ扱うもので、2つの割り当て命題と、関係を示す命題、質問の命題、そして解決とは関連しない命題を含む4文で構成されていた。各文章題において、問題解決のコンポーネントを測定するため、質問文の同定と、数値の情報の同定、求答事項の同定、演算の選択、アルゴリズム (計算式) の同定、関連しない情報の同定が、それぞれ多肢選択形式で質問された。

分析の結果、MD児は、文章題解決の成績、解決のコンポーネント、視-空間作業記憶を除く作業記憶の測度において、年齢対応群より劣ることが明らかになった。群間差が認められた解決のコンポーネントは、質問文の同定と、求答事項の同定、演算選択の選択、計算式の同定であり、このうち求答事項の同定では、MD児の遂行は能力対応群を下回っていた。作業記憶の測度から、文章題解決の成績の予測を行ったところ、構音プロセス、言語作業記憶、視-空間作業記憶は、それぞれ別個に文章題解決と関連していることが明らかになった。しかしながら、計算式を同定する解決コンポーネントで測定された「アルゴリズムの知識」を回帰式に加えると、作業記憶の寄与は低下し、影響が認められたのは構音プロセスのみとなった。これより、学習障害児は、アルゴリズムに関連する知識へのアクセスがうまくいっていないこと、そして、アルゴリズムについての長期記憶を活性化することが、作業記憶と問題解決との関連を媒介していることが示唆された。そして、この結果は、算数文章題の不全が、構音プロセスと中央実行部の両方に関連していることを示すものと考察された。

Passolunghi and Siegel (2004) では、Passolunghi and Siegel (2001) の枠組みに、算数の課題と、構音の流暢さを測定する課題を加え、小学5年生を対象に実験を行った。算数課題は、2数を比較して奇偶判断や大小判断を行わせるものと、加減乗除のいずれかを用いて解く文章

題における演算選択とが出题された。構音の流暢さ課題としては、Hitch and McAuley (1991) が使用した発話の速さ課題およびカウンティングの速さ課題のほか、項目カウンティング課題が用いられた。この研究ではまた、先行研究で異なる結果が得られている学習障害児の短期記憶不全の有無について再検討するにあたり、単語および数の逆唱の課題を作業記憶課題に分類した。

標準化された達成度テストの遂行に基づき、標準的な読み能力を有した算数困難群を抽出し、年齢・性別・語彙テストの得点を対応させた健常群を設定した。両群の遂行を比較したところ、算数困難群では、言語情報と数値情報のどちらの作業記憶課題でも遂行が悪く、先行研究と同様の、全般的な作業記憶不全が認められた。しかし、短期記憶課題では健常群と差がなく、主として音声ループが関与する、発話の速さやカウンティングの速さに関しても、差が認められなかった。抑圧プロセスに関する困難は、先行研究と同様に認められた。以上の結果から、算数困難児においても、情報の貯蔵能力は健常児と同様であるが、その能力を有効には使えていないという結論が導かれた。

Swanson and Beebe-Frankenberger (2004) では、小学1～3年生における、算数困難のリスク児と非リスク児とを対象に、作業記憶および問題解決の個人差をもたらす認知的要因について検討した。算数困難のリスク児の判定は、知能が正常であることと、算数の遂行—口頭で提示された文章題を解くことと、数字を流暢に読むこととに関連した標準化測度での成績—が一定基準より低いことによって行われた。問題解決は、算数文章題の解決と解決プロセスの遂行、計算能力と計算の流暢さにより測定した。予測変数としては、読みおよび構音処理の測度5課題、短期記憶4測度、作業記憶5課題、情報の抑圧と更新の測度2課題、意味処理と語彙の測度2課題を、それぞれ実施した。主要な結果だけ紹介すると、文章題解決の成績を予測した要因は、作業記憶、短期記憶、流動的知能、処理スピード、アルゴリズムの知識であった。さらに、作業記憶の中央実行部は、構音システムのプロセスよりも、また、長期記憶や抑圧の測度よりも、大きな寄与を示していた。ただしここでも、アルゴリズムの知識と流動的知能を回帰式に加えた場合に、作業記憶の寄与が低下したことは、注目すべき結果だと筆者は考える。アルゴリズムの知識と文章題解決の成績との関連が、長期記憶からの想起にかかわるものなのか、アルゴリズムの理解あるいは表象自体にかかわるものなのか、今後検討していく必要があるだろう。

#### 学習障害児に対する文章題指導にかかわる実証研究

先ほど述べた縦断調査では、MD児における遂行の変化と、その間に児童が受けた処遇との関連については検

討されていない。本節では、学習障害児に対する算数の指導のうち、文章題の指導を扱った実証研究に焦点を絞り、どんな指導方法について、どのようなやり方で効果の検証が行われたのかについて検討していく。

近年、算数にかかわる認知心理学的研究の成果に基づいて、MD児に文章題を指導した研究が増えている。例えば、Jitendraらによる一連の研究 (Jitendra, DiPipi, & Perron-Jones, 2002; Jitendra, Hoff, & Beck, 1999; Jitendra, Griffin, McGoey, Gardill, Bhat, & Riley, 1998; Jitendra and Hoff, 1996) では、加算や減算の文章題において、変化、比較等といった文章題の意味的なタイプ (問題スキーマ) を表象するスキーマ図を用いた指導を行うことで、文章題の遂行が向上したことが報告されている。特にJitendra et al. (1998) では、スキーマに基づく解決方略 (schema-based strategy) と伝統的な方略の比較を行い、直後ポストテストに加えて、遅延ポストテストと一般化テストでも、スキーマ方略を指導された群の成績が、伝統的な方略を指導された群の成績を上回っていることを示した。類似の指導方法としては、より年長の学習障害者を対象に、線分図による問題表象テクニックを指導した研究も行われている (Zawaiza & Gerber, 1993)。

また、Hutchinson (1993) は、方程式の文章題を対象に、線分図による問題表象の仕方を含めた認知方略 (cognitive strategy) の訓練を行った。方略には文章題の表象と解決に関わる自己質問 (self-questioning) が含まれ、プロンプトカードとして生徒に渡された。訓練を受けた群では、問題解決の遂行が向上したことに加え、6週間後の遅延テストにおいても、獲得した方略の保持や転移が認められた。こういった問題解決に関する認知的あるいはメタ認知的方略の指導は、他にも広く行われている。加減算の文章題を対象としたCase, Harris and Graham (1992) でも、自己評価や自己記録といった自己制御による (self-regulated) 認知方略を指導し、指導内容の定着を調べるフォローアップの結果から、対象児の文章題解決技能が向上したことを報告した。ただし、これらの研究では、被験者数が少なく、統計的手法による検証はほとんど行われていない。

文章題解決の指導に関する研究の中には、学習障害児童が、指導された内容を異なるタイプの問題を解決する際に利用できるかという、一般化について検証したものがある。例えばJitendra et al. (2002) では中学生に対して乗除算の文章題を解く際のスキーマ方略を指導し、教えられた問題解決技能を新奇な問題に一般化できるかどうかを検討した。一般化テストにおいては、指導の際に用いた問題と同じ構造をもち文脈や未知数の位置が異なる文章題で近い転移 (near transfer) を、指導されていない複雑な文章題で遠い転移 (far transfer) を、それぞれ測定した。学習障害児を対象としたこの他の研究では、

Jitendra et al. (1998; 1999) や Case et al. (1992), Hutchinson (1993) 等でも、一般化についての検討が行われている。

また、転移そのものを明確に指導する試みもなされている。Owen and Fuchs (2002) では、問題解決方略の指導にワーディング等の異なる問題への転移の指導を組み合わせた群を設け、プレテストからポストテストにかけての向上が指導のみの群よりも大きくなることを示した。

Fuchs et al. (2004) は、通常学級の小学3年生を対象にした文章題の指導法について、その指導効果を検証した大規模な研究 (Fuchs et al., 2003a; 2003b) の参加者から、学習障害のリスクのある児童を抽出し、リスクの状態による効果の違いを検討した。この研究の特徴は、一定数のリスク児を対象とし、教育効果を統計的手法を用いて検証したこと、算数障害の状態すなわち読み障害の有無により、処遇への反応がどう変わるかを検討したことにある。以下、この研究について詳しく紹介する。

指導は、自己制御学習の方略の指導と転移の指導とを組み合わせたものであった。実験授業は16週間にわたってクラス単位で実施され、その流れは、基礎的問題解決の指導を3週間、3週間にわたる転移の指導と自己制御学習のセッションを4回、長期休暇をはさんで、復習の授業が2セッション、となっていた。被験児は、計算と読解力テストの成績をもとに、読みと算数障害のリスク児、算数障害のみのリスク児、読み障害のリスク児、非リスク児に分類された。

テストでは、授業で用いたタイプの問題を、カバーストーリーだけ変えて出題した直接の転移と、質問文やキーワードなど表面的な特徴をも変えて出題した近い転移とを実施し、処遇の効果を測定した。転移の評価にあたっては、理解 (計算式に用いた数値や、適用した演算などの正誤)、計算 (計算自体の遂行の正誤)、ラベリング (答えに適切なラベリングをしているか) の3つの得点を算出した。

分析の結果、概念的な理解においては、リスク児の向上が、他の児童より小さかった。直接の転移、近い転移ともに、計算とラベリングのスコアでは、学習障害のリスク児は3グループとも、非リスク児より小さな向上しか認められなかった。直接の転移における理解のスコアでは、MD/RDのリスク児の向上が、他の児童より小さかったこと、近い転移における理解では、MD/RDのリスク児の向上が、非リスク児より小さかったことが明らかになった。

MD児のラベリングおよびRD児の計算が、非リスク児ほど伸びなかった理由については、実施した問題解決の指導が、概念的側面に焦点を当てたもので、計算やラベリングには時間をさかなかつたことが指摘されている。

また、スクリーニングテストの得点を検討したところ、RD児の算数能力とMD児の読解力が、いずれも非リスク児に比べて低かったことが明らかになった。これより、MD児やRD児に問題解決の指導を行う場合は、計算やラベリングに関する指導や作業をも取り入れる必要があることが示唆された。MD/RDリスク児においては、様々な測度で、他の児童群に比べて小さな指導効果しか得られなかったことは、これらの児童が、基礎的不全を広い範囲で持つことに起因すると考察されている。この研究ではまた、読みと算数障害のリスク児における反応が、計算力および読解力からどの程度説明できるかを検討し、直接の転移、近い転移ともに、計算力が大きな寄与を示すことを示した。これより、算数困難は、読解の困難よりも、問題解決学習における困難に起因している可能性が示唆された。

以上の結果に基づき、Fuchsらは、こういった問題解決の指導を実践するにあたり、学習障害のリスクのある児童に対しては、リスクの状態に応じた補足的な指導を、追加で行う必要があることを提唱した。

## おわりに

本論文では、算数障害・算数困難について、計算や文章題解決における不全を中心に、その認知的要因についての研究を概観した。これまでの研究を総合すると、第1に、計算における不全は、発達の未熟な手続きを使用すること、長期記憶における数的事実の表象や想起が困難であること、2つのタイプがあり、その背後には、作業記憶の不全やカウンティングの知識の弱さがあることが明らかになった。計算の不全とカウンティング知識との関連が実証されたことは、算数障害を定義するにあたり、計算以前の数概念の形成などの発達の視点を導入すべきだとした熊谷 (1999) の提言の意義を示すものといえるだろう。児童の算数能力とその発達を、計算の決まりや位取りを含めた様々な側面から検討したJordanらの研究は貴重なものであるが、今後は、獲得された概念やスキルの発達の関連をあわせて検討していくことが必要であろう。

第2に、算数障害のみの児童に比べ、算数障害と読み障害を合併した児童においては、計算と数学的推論のさまざまな領域にまたがる広範囲な不全が認められた。また、縦断調査の結果より、こういった児童では、特に文章題解決能力の発達が遅いことが明らかになった。これより、算数障害の下位分類 (熊谷, 1999) にあたっては、計算や文章題、図形といった、算数領域における不全に着目することに加え、読みや記憶など、関連する他の側面をも考慮する必要があることが示唆された。

第3に、算数障害児における作業記憶不全については、①不全が全般的なものか部分的なものか、②短期記憶の



不全を伴うのか、③作業記憶のどのような働きあるいはコンポーネントに不全があるのか、の3点が、近年の研究の論点であった。まず①については、近年の研究では、言語と視-空間の両方の作業記憶で不全が見られること、カウンティングの結果など数値情報の保持に限定したのではなく、言語的情報の保持を含む全般的な不全であることが示されている。②については、読み能力の影響を統制した場合、単語および数の順唱によって測定される短期記憶には不全が見られないことが検証された。③の不全のメカニズムについては、計算の不全は構音システム（音声ループ）と関連し、文章題の不全は中央実行部と関連しているとする研究が多いものの、特に文章題に関しては、はっきりした結果が得られていない。文章題の成績の予測において、作業記憶を上回る要因を見出した研究もあり、文章題と作業記憶との関連自体、再検討の余地があるかもしれない。

この原因としては、文章題を解くという認知プロセス自体の複雑さもさることながら、以下のことが考えられる。まず、文章題の不全に関する研究はまだ少なく、統一的な研究の枠組みが提唱されているわけでもない。従って、実験課題を設定する背景となった作業記憶の下位区分が異なったり、同じコンポーネントに対応するとされる課題が、研究によって異なったりする場合があった。そして、繰り返し述べてきたように、研究対象とするMD児の抽出方法自体が、研究間で一致していない。具体的には、本来の学年より2年遅れ、あるいは1年遅れ、標準化されたテストでの35パーセント以下、あるいは25パーセント以下、ニーズを持つ児童を対象とした授業プログラムへの参加、等々である。学習障害の定義にある、知能に大きな遅れを持たないという点に関しても、それについての記載がある論文とない論文とがあった。こういった不一致が、結果の多様性をもたらすひとつの要因になっているのではないだろうか。本論文で紹介した諸研究の発展を含めた今後の研究の展開により、計算の領域だけでなく、文章題解決においても、認知的な不全の内容が明らかになり、認知障害の特徴に対応した指導へつながる成果が得られることを期待している。

第4に、算数障害児に対する文章題解決の指導に関しては、認知心理学的アプローチによる知見に基づく指導法による成果が示されている。スキーマ図などを利用して文章題の理解を向上させる指導のほか、自己制御学習の方略や転移の指導が行われている。ただし、これらの研究のほとんどでは、読み障害の有無による教育効果の差異までは検討されていない。本論文で紹介したように、指導の効果が、算数障害のリスクの有無だけでなく障害のタイプによっても異なること、そしてそもそも、障害や困難のタイプによって達成のプロフィールや発達が異なることを考慮すると、今後の研究では、障害やリスク

のタイプや状態を査定した上で、指導効果を丁寧に検証していく必要があるだろう。それと平行して、計算以外の領域についても、タイプごとの障害の背後にある認知的要因を、算数能力の発達プロセスをも考慮に入れて、さらに解明していくことが必要である。

## 文献

- Bull, R. & Johnston, R.S. 1997 Children's arithmetical difficulties: Contributions from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology*, **65**, 1-24.
- Case, L.P., Harris, K.R. & Graham, S. 1992 Improving the mathematical problem-solving skills of students with learning disabilities: Self-regulated strategy development. *The Journal of Special Education*, **26**, 1-19.
- Fuchs, L.S., Fuchs, D. 2002 Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, **35**, 564-574.
- Fuchs, L.S., Fuchs, D., & Prentice, K. 2003a Explicitly teaching for transfer: Effects on third-grade students' mathematical problem solving. *Journal of Educational Psychology*, **95**, 293-304.
- Fuchs, L.S., Fuchs, D., & Prentice, K. 2003b Enhancing third-grade student' mathematical problem solving with self-regulated learning strategies. *Journal of Educational Psychology*, **95**, 306-315.
- Fuchs, L.S., Fuchs, D., & Prentice, K. 2004 Responsiveness to mathematical problem-solving instruction: Comparing students at risk of mathematics disability with and without risk of reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, **37**, 293-306.
- Geary, D.C. 1993 Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin*, **114**, 345-362.
- Geary, D.C., Hamson, C.O. & Hoard, M.K. 2000 Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concept deficits in children with learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, **77**, 236-263.
- Geary, D.C., Hoard, M.K. & Hamson, C.O. 1999 Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for a mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, **74**, 213-239.
- Geary, D.C., Brown, S.C. & Samaranayake, V.A. 1991 Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in

- normal and mathematically disabled children. *Developmental Psychology*, *27*, 787-797.
- Geary, D.C., Hoard, M.K. & Byrd-Craven, J. 2004 Strategy choices in simple and complex addition: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology*, *88*, 121-151.
- Hanich, L.B., Jordan, N.C., & Kaplan, D. 2001 Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*, *93*, 615-626.
- Hecht, S.A., Torgesen, J.K., Wagner, R.K. 2001 The relations between phonological processing abilities and emerging individual differences in mathematical computational skills: A longitudinal study from second to fifth grades. *Journal of Experimental Child Psychology*, *79*, 192-227.
- Hitch, G.J. & McAuley, E. Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology*, *82*, 375-386.
- Hutchinson, N.L. 1993 Effects of cognitive strategy instruction on algebra problem solving of adolescents with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, *16*, 34-63.
- Jitendra, A.K., DiPipi, C.M., & Perron-Jones, N. 2002 An exploratory study of schema-based word-problem-solving instruction for middle school students with learning disabilities: An emphasis on conceptual and procedural understanding. *Journal of Special Education*, *36*, 23-38.
- Jitendra, A.K., Griffin, C.C., McGoey, K., Gardill, M.C., Bhat, P., & Riley, T. 1998 Effects of mathematical word problem solving by students at risk or with mild disabilities. *Journal of Educational Research*, *91*, 345-355.
- Jitendra, A. & Hoff, K. 1996 The effect of schema-based instruction on mathematical word problem solving performance of students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, *29*, 22-431.
- Jitendra, A.K., Hoff, K. & Beck, M.M. 1999 Teaching middle school students with learning disabilities to solve word problems using a schema-based approach. *Remedial and Special Education*, *20*, 50-64.
- Jordan, N.C., Hanich, L.B. 2000 Mathematical thinking in second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities*, *33*, 567-578.
- Jordan, N.C., Hanich, L.B. 2003 Characteristics of children with moderate mathematics deficiencies: a longitudinal perspective. *Learning Disabilities Research & Practice*, *18*, 213-221.
- Jordan, N.C., Hanich, L.B., & Kaplan, D. 2003 A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development*, *74*, 834-850.
- Jordan, N.C., Hanich, L.B., & Uberti, H.Z. 2003 Mathematical thinking and learning difficulties. In A.J. Baroody & A. Dowker (Eds.), *The development of arithmetic concepts and skills: constructing adaptive expertise* (pp.359-383). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jordan, N.C., Kaplan, D., & Hanich, L.B. 2002 Achievement growth in children with learning difficulties in mathematics: Findings of a two-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology*, *94*, 586-597.
- Jordan, N.C. & Montani, T.O. 1997 Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison and children with specific and general mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, *30*, 624-634.
- Kail, R. & Hall, L.K. 1999 Source of developmental change in children's word problem performance. *Journal of Educational Psychology*, *91*, 660-668.
- Keeler, M.L. & Swanson, H. L. 2001 Does strategy knowledge influence working memory in children with mathematical disabilities? *Journal of Learning Disabilities*, *34*, 418-434.
- 熊谷恵子 1999 算数障害の概念—法的定義, 学習障害研究, 医学的診断基準の視点から—。特殊障害学研究, *37*, 97, 106.
- Leblanc, M.D. & Weber-Russell, S. 1996 Text integration and mathematical connections: A computer model of arithmetic word problem solving. *Cognitive Science*, *20*, 357-407.
- Mayer, R.E. & Hegarty, M. 1996 The process of understanding mathematical problem solving. In R.J. Sternberg & T. Ben-Zeev (Eds.), *The nature of mathematical thinking* (pp.29-54). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- McLean, J.F. & Hitch, G.J. 1999 Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, *74*, 240-260.
- Ostad, S.A. 1998 Developmental difference in solving simple arithmetic word problems and simple number-fact problems: A comparison of mathematically normal and mathematically disabled children. *Mathematical*

- Cognition*, 4, 1-20.
- Owen, R.L. & Lynn, S.F. 2002 Mathematical problem solving strategy instruction for third-grade students with learning disabilities. *Remedial and Special Education*, 23, 268-278.
- Passolunghi, M.C. & Pazzaglia, F. 2004 Individual difference in memory updating in relation to arithmetic problem solving. *Learning and Individual differences*, 14, 219-230.
- Passolunghi, M.C., Cornoldi, C. & De-Liberto, S. 1999 Working memory and intrusions of irrelevant information in a group of specific poor problem solvers. *Memory and Cognition*, 27, 779-790.
- Passolunghi, M.C. & Siegel, L.S. 2001 Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 44-57.
- Passolunghi, M.C. & Siegel, L.S. 2004 Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88, 348-367.
- Russell, R.L. & Ginsburg, H.P. 1984 Cognitive analysis of children's mathematics difficulties. *Cognition & Instruction*, 1, 217-244.
- Siegel, L.S. & Ryan, E.B. 1989 The development of working memory in normal achieving and subtypes of learning disabled children. *Child development*, 60, 973-980.
- Siegler, R.S. 1996 *Emerging minds. The process of change in children's thinking*. New York: Oxford university press.
- Swanson, H.L. 1993 Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 87-114.
- Swanson, H.L., Cooney, J.B. & Brock, S. 1993 The influence of working memory and classification ability on children's word problem solution. *Journal of Experimental Child Psychology*, 55, 374-395.
- Swanson, H.L. & Sachse-Lee, C. 2001 Mathematical problem solving and working memory in children with learning disabilities: Both executive and phonological processes are important. *Journal of Experimental Child Psychology*, 79, 294-321.
- Swanson, H.L. & Beebe-Frankenberger, M. 2004 The relationship between working memory and mathematical problem solving in children at risk and not at risk for serious math difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 96, 471-491.
- Wilson, M & Swanson, H.L. 2001 Are mathematics disabilities due to a domain-general or a domain specific working memory deficit? *Journal of Learning Disabilities*, 34, 237-248.
- 吉田昌義・河村久・吉川光子・柘植雅義 2003 つまづきのある子の学習支援と学級経営—通常の学級におけるLD・ADHD・高機能自閉症の指導—。東洋館出版。
- Zawaiza, T.B.W. & Gerber, M.M. 1993 Effects of explicit instruction on community college students with learning disabilities. *Learning Disability Quarterly*, 16, 64-79.