

# 発達障害のある児童のワーキングメモリは改善できるのか

—— 広汎性発達障害のある児童を対象とした試み ——

黄 淵 熙・立 花 良 之\*

## I. はじめに

ワーキングメモリは、さまざまな行動場面で情報処理の一時的な保持を担うことにより、情報の処理と保持の並列処理を支え、目標の達成に向かって行動を維持するために必要な記憶であると定義される(菅阪, 2002)。すなわち、情報を数秒間くらいの短い時間の間、頭の中にすぐ使える状態で保持する能力であり、日常的にさまざまな認知課題を行ううえで不可欠な機能である。例えば、われわれは会話をしたり本を読んだりあるいは計算をしたりというように、情報を処理しながら聞いたり読んだりした内容、あるいは計算した内容を、ほんのわずかの間だけ覚えておかなければならない場面にしばしば出会う。そのような場面で、情報を処理しつつ、一時的に必要な事柄を保持するはたらきをしているのが、ワーキングメモリである。

ワーキングメモリのモデルとして最も知られているのが、その概念を提唱したバッドリーのモデルである(Baddeley, 2006)。図1にバッドリーのモデルを示す。

このモデルの中で、音韻ループ(phonological loop)と視空間的スケッチパッド(visuo-spatial sketchpad)、エピソードバッファ(episodic buffer)を合わせてサブシステムと呼ぶ。音韻ループは音韻的コードに基づいた言語的情報の一時的保持のために特殊化されたシステムであり、し

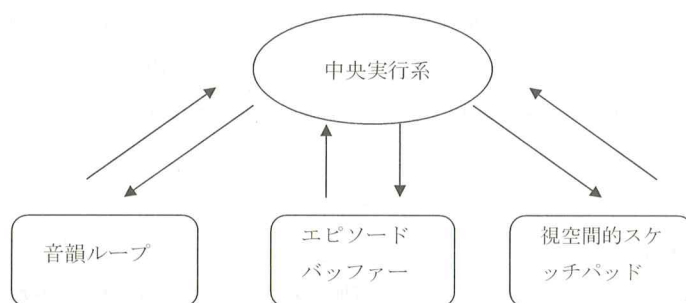


図1. バッドリーのワーキングメモリのモデル (Baddeley, 2006)

\*東北大学加齢医学研究所脳機能開発研究分野

ばらくの間だけ保持しておなければならぬ情報を、内的な言語の反復によるリハーサル (subvocal rehearsal) を用いて貯蔵する。視空間的スケッチパッドは、音韻のリハーサルでは保持できない、非言語的な情報を、視覚イメージを用いて保持していると考えられる。エピソードバッファは比較的最近モデルに加わったサブシステムで、長期記憶と相互作用しながら長期記憶から情報を検索する役割を担っている。また、ワーキングメモリの中核にある中央実行系は、3つのサブシステムのはたらきを管理し、制御する役割をする。ここは記憶保持の場ではなく、目標となる課題を達成するために注意を方向付けたり割りつけたり、課題を遂行するのに必要な処理資源を確保したりなどの制御機構として考えられている (Baddeley, 1996)。

このワーキングメモリシステムにはいくつかの大きな特徴がある。まず、ワーキングメモリの容量には限界があり、個人差が存在する。ワーキングメモリの個人差を測定するために開発された代表的な検査としてリーディングスパンテストがある。リーディングスパンテストは次々と提示される短文を被験者自身に口頭で読ませながら、短文の文末の単語を保持させることを通して、読みを行いつつ単語の保持がどの程度できるかを測定することにより、読みと関連したワーキングメモリ容量の個人差を推定する。例えば、次のような文を口頭で読むことに加えて、文末の単語を覚えることである (Daneman & Carpenter, 1980)。

1. We waited in line for a *ticket*.
2. Sally thinks we should give the bird its *food*.
3. My mother said she would write a *letter*.

2文から6文までの文を5試行ずつ繰り返して実施して、3試行以上正しく再生できた文の数がその個人のリーディングスパン得点になる。例えば、上述した例は3文条件で、このような文のセットを5試行行って、3試行正解できれば、リーディングスパンは3.0となる。Danemanら(1980)が大学生の被験者20名で測定したところ、その得点は2.0~5.0まで分布し、平均値は3.15であった。同じ大学の学生に実施した結果で、学力も大きく異なっていないと考えられるにもかかわらず個人差が2.0から5.0まで広い範囲におよんでいる。

2つ目に、ワーキングメモリの容量は発達過程において変化する。五十嵐ら(2000)は先ほど紹介したリーディングスパンテストの日本語版を用いて7歳から10歳までの小学生を対象としてワーキングメモリの容量の変化を調べた結果、7歳の平均値が2.0であることに対して、10歳になると2.82まで増加していることを明らかにした。すなわち、年齢段階が上がるとともに得点が上昇するのである。ワーキングメモリのタイプごとにその容量の変化を調べると、言語的ワーキングメモリの容量は5~7歳の子どもは2つの単語を覚えられることに対して11~12歳になると、4つの単語を覚えることができ、2倍の増加が見られた (Cowan et al., 1999)。また、視空間的ワーキングメモリは、4歳児が2~3つの絵を順番に覚えることができることに対して、5~11歳には覚えられる数とその倍になり、大人の視空間的ワーキングメモリ容量に達するようになる。

ワーキングメモリの3つ目の特徴は、学習能力と強く関係していることである。この20年間、様々な研究から学習能力における個人差の原因にワーキングメモリがあることが明らかになってきた (e.g., Gathercole, Lamont, & Alloway, 2006)。その種類に関係なく、学習には、情報の操作、長期記憶との相互作用、情報の貯蔵と処理の同時処理などが必要になるため、ワーキングメモリが要求される。従って、ワーキングメモリの容量と効率性は学習の速度と量を決定する。音読、算数、作文などの学業はワーキングメモリの機能と深く関係している。ワーキングメモリとこのような学業成績とは .55~.92 の相関があることが明らかになっている (Swanson, 1995)。

一方、最近様々な研究からワーキングメモリの問題は発達障害の主な障害の一つであることが明らかになった。

読み障害とワーキングメモリに関する研究は、数多く行われ、定型発達児と読み障害のある子どもを区別する要因として、ワーキングメモリの容量の問題が指摘されている。例えば、WISC-IV (Wechsler Intelligence Scale for Children — Fourth Edition; Wechsler, 2003) の標準化の際の研究では、読み障害のある児童と、年齢を一致させた定型発達の子どもの群指数を比較した。その結果、定型発達の子どもの群指数の中でワーキングメモリ群指数の得点が最も高かったことに対して、読み障害のある子どもは4つの群指数の中でワーキングメモリ群指数の得点が最も低い(平均87)ことが明らかになった。また、算数障害のある子どもは言語的ワーキングメモリ、視空間的ワーキングメモリ、中央実行系の全てのワーキングメモリ課題において統制群より劣っていることが明らかになった (Swanson & Sachse-Lee, 2001)。特に、中央実行系の問題が大きく、目の前にあるの課題と関係ない情報を抑制したり (Passolunghi & Siegel, 2001)、足し算から引き算へと移動するなどの変換がうまく行かないことが多かった。

広汎性発達障害 (PDD) は前頭葉の機能不全による実行機能の障害であることから、必然的にワーキングメモリに障害があることが予想されたが、研究によってその結果は様々である。例えば、高機能広汎性発達障害のある子どもを対象とした研究から Williams ら (2005) は、広汎性発達障害のある人は視空間的ワーキングメモリ課題には困難を示したいるが、言語的ワーキングメモリには問題がないことを示唆した。現在の最も有力な仮説としては、広汎性発達障害のある子どもは内的言語を使うことが困難であるため、ワーキングメモリの方略を使うのが難しく、その結果、ワーキングメモリ課題に失敗するということである (Minear & Shah, 2006)。

注意欠陥多動性障害 (ADHD) とワーキングメモリとの関連に関しては、膨大な研究が行われて、ワーキングメモリの欠陥が ADHD の主要な障害であることが明らかになった (Wu, Anderson, & Castiello, 2006)。Brown ら (2007) は 117 名の ADHD のある子どもを対象として様々なワーキングメモリの課題を実施した結果、彼らの 74% にワーキングメモリの問題があったと報告した。また、Martinussen ら (2005) は ADHD のワーキングメモリの欠陥に関する 26 の研究をメタ分析した結果、ADHD のある児童はワーキングメモリの全ての構成要素において困難を示すことを明らかにした。しかし、視空間的ワーキングメモリにおいては著しい困難を示したことに

対して、言語的ワーキングメモリにおいてはその困難が軽度であった。Martinussenら(2005)は、ADHDのある児童の学業不振は不注意の直接的な結果ではなく、ワーキングメモリの困難から生じた問題である可能性を示唆した。さらに、ADHDのサブタイプによってワーキングメモリの困難を示す領域が異なることを示した研究もある。MartinussenとTannock(2006)は、ADHD混合型は言語的ワーキングメモリ、視空間的ワーキングメモリ、中央実行系の課題全てにおいて定型発達児に比べて劣っていることを明らかにした。一方、不注意型は視空間的ワーキングメモリと中央実行系の課題に困難を示し、多動性・衝動性型はワーキングメモリの困難を示さないか、困難がある場合は中央実行系の困難である傾向があることを明らかにした。これらの結果から、ADHDのある子どもが、全てのワーキングメモリ課題において困難を示すことではないこと、ワーキングメモリの困難は、多動と衝動の症状よりは不注意と関連していることが分かる。不注意と学習障害を合併している子どもは、言語的ワーキングメモリと中央実行系に困難があるという研究も数多く出されている(例えば、Denckla, 1996)。このことから、ワーキングメモリの問題がADHDのある子どもの学習困難の根本的な原因である可能性が示唆されている。

以上のようにワーキングメモリの困難が、発達障害や認知障害の根底にあることが明らかになって以来ワーキングメモリを改善するための介入に関する研究も盛んに行われるようになった。しかし、ワーキングメモリの容量はトレーニングなどでは変化しがたい個人の認知特性として考えられてきたので、損傷されたワーキングメモリの機能の直接的な治療は非現実的だという見解が圧倒的であった(Glisky & Glisky, 2002)。従って、ワーキングメモリの困難に対する介入としては、制限あるワーキングメモリの容量を効率的に使うための認知の方略や記憶術が中心として行われた。

しかし、最近、研究対象や方法などには限界があるものの、直接的なトレーニングを通してワーキングメモリの容量の改善を示した研究が出された。ワーキングメモリの改善のためのコンピュータによるトレーニング法を開発したKlingbergら(2002, 2005)はトレーニングを通してワーキングメモリ容量の増加と脳活動関連変化が見られたことを報告した。Westerbergら(2007)は、自然回復の可能性がない若年脳卒中患者を対象としてKlingbergらのワーキングメモリトレーニングプログラムを実施した。毎日40分ずつ、1週に5日間のトレーニングを5週間行った結果、対象群は統制群に比べてワーキングメモリ課題において有意な向上が現れた。さらに、トレーニングでは使わなかった課題である、数字スパンが5.8から7.3に向上し、トレーニング効果の汎化も認められた。最近Klingbergら(2005)の研究に基づいてRoboMemoと呼ばれる商業的介入ソフトが開発された。このソフトは、ワーキングメモリに困難を持つ子ども、特にADHDのある児童のワーキングメモリスパンと注意スパンの向上を目的としたもので、このトレーニングを終えた児童の約80%が注意と推論課題において向上が見られ、対象児の保護者の報告では、トレーニングを受けた児童の約79%がトレーニングの1年後にもその効果を持続していたとCOG-MED社は報告している。

このようなコンピュータによるトレーニングは、介入を実施するための人的資源をあまり要しなく、時間と場所において融通が利くなどの長所がある反面、トレーニングの効果の持続と汎化につながるかも知れない方略の訓練やメタ認知的情報を提供しないこと、特殊なコンピューターゲームを使わなければならないという短所があると考えられる。

一方、Miuraら（2003）は、文章の音読がワーキングメモリを含む広範な脳領域を活性化させることを、脳機能イメージングを通して明らかにした。また、Kawashimaら（2005）は、音読を認知リハビリテーションとして利用し、Alzheimer型老年認知症の患者への生活介入方法としての効果を示した（Kawashima et al., 2005）。この研究では、認知症患者の認知能力のみならず、コミュニケーションなどの生活面及び心理面での改善も見られ、音読の生活介入がワーキングメモリの改善をもたらしたのみならず、前頭葉などの脳機能全体の改善にも汎化した可能性を提示している。

以上のことから、本研究では日常生活で簡便に実施できる音読が、発達障害のある児童のワーキングメモリの改善に効果があるのかを予備的に確認することを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 対象

小学校2年から5年までの広汎性発達障害のある児童11名を対象とした。男児が9名で、81.8%を占めていた。対象児の具体的な属性を表1に示す。読書指数は標準読書力診断テスト結果出されたもので、100を平均とする。全ての対象児の保護者から書面での許可を得た。

表1. 対象児の属性

対象児	群分け	学年	性別	WISC-III 知能検査結果			読書指数
				FIQ	VIQ	PIQ	
A	介入群	3	男	79	82	80	58
B	介入群	3	男	121	139	97	113
C	介入群	5	男	85	95	78	99
D	介入群	3	男	68	61	83	未実施
E	介入群	3	男	74	81	72	69
F	介入群	3	男	63	57	76	未実施
G	比較群	3	男	85	82	90	70
H	比較群	4	男	88	96	82	133
I	比較群	5	男	85	95	78	99
J	比較群	4	女	107	103	111	103
K	比較群	4	男	86	79	100	75

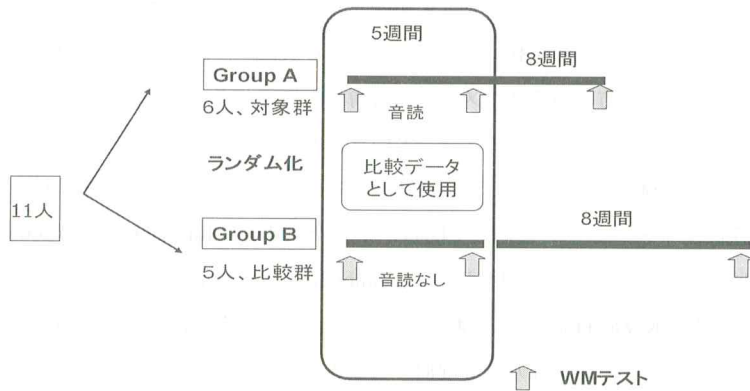


図2. 音読介入の手続き

## 2. 手続き

介入前に対象児の読書力レベルを把握するため、読書力診断テストを実施した。その後、11名の対象児をランダムに2つの群に分け、ベースライン測定のためのワーキングメモリ検査を両群に実施した。ベースライン測定後、介入群には5週間音読の介入を行った。読み物は読書力診断テストの結果に基づいて、子どもの読解力レベルに合う読み物を各家庭で子どもと一緒に選ぶようにした。5週間の音読後、介入群は2回目のワーキングメモリ検査を行った。その後、介入を継続し、8週目に3回目の検査とともに音読を終了した。一方、比較群はベースライン測定後、音読の介入をしないまま5週間後に2回目のワーキングメモリ検査を行い、その後、8週間続けて音読の介入を行った。介入群と比較群の比較データとしては、2回目のワーキングメモリ検査のデータを用いた。音読介入の手続きを図2に示す。

また、音読に対する意欲を高めるために、介入前に、親子に冊子を用いて音読トレーニングの意味と効果を理解してもらった。さらに、子どもにはポイントを貯めて自分がほしいものと交換できるごほうびシステムを導入した。ごほうびシステムの例を図3に示す。

## 3. ワーキングメモリ検査

ワーキングメモリ検査としては、日本語版児童リーディングスパンテストを用いた（五十嵐ら、2000）。英語版のリーディングスパンテスト（Daneman & Carpenter, 1980）が文の最後の単語を覚えるべきターゲット語にしたことに対して、日本語版ではターゲット語の品詞が動詞に偏ることを防ぐため、文中の単語の下に下線を引いて、その単語をターゲット語にした。本研究で用いた日本語版リーディングスパンテストの文例を表2に示す。



#### IV. 考 察

ワーキングメモリは、多くの認知処理と関連しており、高次認知処理における困難はワーキングメモリの機能に影響を与えることが予測できる。発達障害とワーキングメモリの困難に関しては多くの研究が行われており、発達障害のある児童・生徒はワーキングメモリの機能に困難があることが明らかになっている (Smith-Spark & Fisk, 2007)。一方、ワーキングメモリの容量は、個人の認知特性として考えられ、損傷されたワーキングメモリを改善させるための直接的アプローチは、非現実的であるという見解が一般的であった (Glisky & Glisky, 2002)。しかし、Klingberg ら (2005) は ADHD のある児童 53 名を対象としてコンピュータによる、ワーキングメモリ・トレーニングを通してワーキングメモリの改善だけでなく、注意持続、推論力の改善などの効果を報告した。それ以来、ワーキングメモリの直接的なトレーニングの可能性が示された。ワーキングメモリの課題における成績の向上が、ワーキングメモリの容量の実質的な向上を意味するのか、それとも同じ容量のワーキングメモリを効率的に使えるようになった結果であるのかには議論があるが、ワーキングメモリの改善可能性については合意が得られつつある。

本研究では、音読が健常者の前頭前野を活性化させるという研究結果 (Kawashima et al., 2005) を基に音読が発達障害のある児童のワーキングメモリの改善に効果があるのかを検討した。その結果、5 週間の音読を行ったグループのみにワーキングメモリの課題の得点の向上が得られ、音読がワーキングメモリ改善のための介入方法として適していることが明らかになった。日常的に簡単に行える音読を通して、特別なプログラムを使用するのと同様の改善効果が得られるということは、経済的にも教育現場での実用性においても意義深いことであると考えられる。

読みに困難のある発達障害の児童は、音読が中心となる課題に取り組むこと自体に抵抗を持っていることが多い。本研究の対象となった子どもの中でも読書指数が 100 より低い子どもが半数程度あり、読みに対する苦手意識に配慮する必要がある。そこで、本研究では、音読に対する苦手意識の軽減と意欲の向上を目的に 2 つの工夫を行った。まず、子どものレベルにあった読み物の選択であった。読書力診断テストを通して自分のレベルに合う読み物を選択することを通して、苦手意識をある程度克服することができたと考えられる。次に、「自己選択」「自己決定」に基づいたごほうびシステムの活用である。発達障害のある子どもは発達の初期から周囲の大人からの指示あるいは行動の促しを通して様々な活動を経験している。その結果、何かの目標に向けて方略を選んだり、修正したりする「自己選択」「自己決定」の機会が少なくなっている (田中ら, 2007)。今回は、音読を行う曜日、時間を自分で決める、もらうごほうびを自分から選ぶといった方法で自己選択の機会を増やしたことが意欲の増加につながったと考えられる。

今後の課題としては、音読によるワーキングメモリのトレーニングがコンピュータによるトレーニングと同様に、ワーキングメモリだけではなく、衝動性のコントロールなど心理行動面及び学業成績の向上にも影響を及ぼすのかを確認する必要があると考えられる。



また、音読を通じたワーキングメモリの改善の可能性を発達障害の障害種別に確認することも重要であると考えられる。

## 文 献

- Baddeley, A.D. (1996). Exploring the central executive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49A, 5-28.
- Baddeley, A.D. (2006). Working memory : An overview. In S.J. Pickering (Ed.), *Working memory and Education* (pp. 1-31). Burlington, MA : Academic Press.
- Brown, T.E., Reichel, P.C., & Quinlan, D.M. (2007). *117 high-IQ youths with ADHD* : Cognitive impairments and unique risks. Poster session presented at the annual meeting of the American Psychological Association, San Francisco, CA.
- Cowan, N. (1999). An embedded-process model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory : Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62-101). Cambridge, UK : Cambridge University Press.
- Daneman, M., & Carpenter, P.A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 19, 450-466.
- Denckla, M.B. (1996). Biological correlates of learning and attention : What is relevant to learning disability and attention-deficit hyperactivity disorder? *Journal of Development and Behavioral pediatrics*, 17, 114-119.
- Gathercole, S.E., Lamont, E., & Alloway, T.P. (2006). Working memory in the classroom. In S.J. Pickering (Ed.), *Working memory and education* (pp. 219-240). Burlington, MA : Academic Press.
- Glisky, E.L., & Glisky, M.L. (2002). Learning and memory impairments. In P.J. Eslinger (Ed.), *Neuropsychological interventions : Clinical research and practice* (pp. 137-162). New York : Guilford.
- 五十嵐一枝・加藤元一朗 (2000). ワーキングメモリの発達, 小児におけるリーディングスパンテスト及びウィスコンシン・カード分類検査の成績変化に関する検討. 学坂直行 (編), 脳とワーキングメモリ. 京都大学学術出版会.
- Kawashima, R., Okita, K., Yamazaki, R., Tajima, N., Yoshida, H., Taira, M., et al. (2005). Reading aloud and arithmetic calculation improve frontal function of people with dementia. *Journal of Gerontology : Medical Sciences*, 60A (3), 380-384.
- Klinberg, T., Fernell, E., Olesen, P., Johnston, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., et al. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD — a controlled, randomized, double-blind trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 177-186.
- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24, 781-791.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44, 377-384.
- Martinussen, R., & Tannock, R. (2006). Working memory impairments in children with attention-deficit hyperactivity disorder with and without language learning disorders. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28, 1073-1094.
- Minear, M., & Shah, P. (2006). Sources of working memory deficits in children and possibilities for remediation. In S.J. Pickering (Ed.), *Working memory and education* (pp. 273-307). Burlington, MA : Academic Press.
- Miura, N., Iwata, K., Watanabe, J., Sugiura, M., Akitsuki, Y., Sassa, Y., et al. (2003). Cortical activation dur-

- ing reading aloud of long sentences : fMRI study. *Neuroreport*, 14, 1563-1566.
- 荻阪満里子 (2002). 脳のメモ帳ワーキングメモリ. 新曜社.
- 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.
- Swanson, H.L. (1995). *Swanson Cognitive Processing Test (S-CPT) : A dynamic assessment measure*. Austin, TX : PRO-ED.
- 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*, 7, 1-48.
- Wechsler, D. (2003). *Wechsler Intelligence Scale for Children — fourth edition*. San Antonio : The Psychological Corporation.
- Westerberg, H., Jacobaeus, H., Hirvikoski, T., Clevberger, M.-L., Ostensson, A., Bartfai, A., et al. (2007). Computerized working memory training after stroke — a pilot study. *Brain Injury*, 21, 21-29.
- Williams, D.L., Goldstein, G., Carpenter, P.A., & Minshew, N.J. (2005). Verbal and spatial working memory in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 35, 747-756.
- Wu, K.K., Anderson, V., & Castiello, U. (2006). Attention-deficit / hyperactivity disorder and working memory : A task switching paradigm. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 28, 1288-1306.