



Title	ワーキングメモリ容量とは何か？：個人差と認知パフォーマンスへの影響
Author(s)	土田, 幸男
Citation	北海道大学大学院教育学研究院紀要, 109, 81-92
Issue Date	2009-12-21
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.109.81
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40219
Type	departmental bulletin paper
File Information	109_004.pdf



ワーキングメモリ容量とは何か？

—— 個人差と認知パフォーマンスへの影響 ——

土 田 幸 男*

What is Working Memory Capacity? :

Individual Difference and Influence on Cognitive Performance

Yukio TSUCHIDA

さまざまな認知活動を支える動的な記憶のシステムであるワーキングメモリには、制限された容量が存在する。本論文では、ワーキングメモリにおける容量とは何なのか、これまでの知見を概観し、解説した。加えて、その個人差がどのような認知パフォーマンスに影響するのか知見をまとめた。これらに基づき、記憶それ自体が関わっていない選択的注意においてもワーキングメモリ容量の個人差が影響を与えるという仮説を検証した。事象関連脳電位を用いた研究から、ワーキングメモリ容量の個人差は課題非関連刺激に対する注意を抑制する可能性を示唆した。最後に、ワーキングメモリ容量と発達障害の関係、トレーニングによる容量向上の可能性について論じ、将来の研究可能性を示した。

【キーワード】ワーキングメモリ、ワーキングメモリ容量、個人差、事象関連脳電位

1. はじめに

ヒトにとって、記憶とは重要な機能の1つである。記憶という言葉は心理学などの学術分野で用いられる以前に、一般的に、日常的に用いられる慣用的な用語でもある。広辞苑第6版では記憶という言葉は以下のように解説されている。

①物事を忘れずに覚えている、または覚えておくこと。また、その内容。ものおぼえ。

② (ア) 生物体に過去の影響が残ること。

(イ) [心] 物事を記録し、それを保持し、さらに後で想起すること。将来の行動に必要な情報をその時点まで保持すること (未来記憶) も含む。

③コンピューターで、必要な情報を保持しておくこと。

心理学やその関連領域の分野ではこの記憶について様々な研究を行ってきている。一口に記憶といっても、記憶効果の残存時間や、記録から想起までの時間間隔、あるいは目的によって様々な分類が存在する。代表的なものは短期記憶 (short-term memory) と長期記憶 (long-term memory) である。これらは字義通り、短期間保持される記憶かあるいは長期間保持される記憶かで分類される。短期記憶の概念を発展させたものがワーキングメモリ (working memory) となる。ワーキングメモリは作業記憶、あるいは作動記憶とも呼ばれ、短

* 北海道大学大学院教育学研究科博士後期課程 (特殊教育・臨床心理学研究グループ)

期記憶より目標指向型の動的な記憶であることが特徴的である。

その他にも時間に基づいた記憶分類がある。即時記憶 (immediate memory) は数秒から 1 分程度に再生を求める記憶である。この記憶概念は前述の短期記憶やワーキングメモリの概念と重複する。近時記憶 (recent memory) は数分から数 10 分、数時間、時には数日くらいも含まれ、これらの期間を経て再生を求められる記憶である。短い期間の場合は短期記憶やワーキングメモリなどの概念と重複する。またある程度長い期間の場合は長期記憶の概念と重複する。そして、遠隔記憶 (remote memory) は数週から数ヶ月、数十年といった長期間を経て再生される記憶であり、長期記憶概念と重複する。これらの分類は主に精神医学の分野で用いられている。

長期記憶はさらに細かい下位分類が考えられている (Squire, 1987)。長期記憶は宣言的記憶と手続的記憶という分類がある。宣言的記憶は意識的想起が可能な記憶とされ、内容について述べる事が可能であるとされている。一方、手続的記憶は学習された技能や認知的操作の変容にあたる記憶とされている。宣言的記憶は更にエピソード記憶と意味記憶に分けられている (Tulving, 1985)。エピソード記憶は時間的に定位された自己の経験に関する記憶であり、意味記憶は辞書的な知識の記憶である。

このように、心理学において記憶は多種多様な分類を持っている。これらは別々の記憶が存在すると考えられる一方、機能的に重複している概念も存在している。どのような目的で記憶を捉えるかによって、心理学的な記憶の分類は異なってくるといえよう。本稿では、これらの記憶分類の中から、ワーキングメモリに焦点を絞って検討を行なう。

2. ワーキングメモリ

ワーキングメモリは情報の一時的な保存を行う記憶である。短期記憶と異なる点として、短期記憶は単純な貯蔵の側面を捉えている記憶なのに対し、ワーキングメモリは能動的な目的指向の記憶である点があげられる。例えば知らない番号に電話をかける時は、番号の書いてあるメモを見てその番号を一時的に頭の中に留めて番号を押すといった事を行うだろう。別の例では暗算がある。例えば、「 27×3 」という計算を暗算で行う時は、まず 1 の位を計算し 21 という解答を得て記憶する。そして次に 10 の位を計算して 6 という解答を得てこれも記憶する。最後に、21 という 1 の位の解答に 10 の位の解答である 6 を 10 の位に足すといった処理と貯蔵のプロセスを経て、81 という最終的な答えを得ることができる。このように課題を行うために必要な情報を一時的に貯蔵し、計算といった処理を行うといった記憶が典型的なワーキングメモリである。短期記憶に比べ、「何かをする」ために情報を一時的に保持することが求められる。

ワーキングメモリの概念は行動主義以降の認知心理学の分野で発展してきた。それまでの単純な刺激-反応の関係では人間の心理について説明できることは限られていた。認知心理学は人間の脳をコンピュータのアナロジーで類推するという方法論を用いたが、その中で、本来はコンピュータ用語であったワーキングメモリの概念が発展した。これにより、従来の短期記憶の概念が発展したのである。ワーキングメモリという言葉は様々な研究者が用いていたが、複雑な認知課題の幅広い範囲の成績に関わる共通のシステムとして、一時的な情報の貯蔵の役割を探索した最初の研究が Baddeley & Hitch (1974) となる。

2-1. ワーキングメモリの歴史

Baddeley & Hitch (1974) のワーキングメモリモデルは、Atkinson & Shiffrin (1971) の二重貯蔵モデルを発展させ作られた。この元になった二重貯蔵モデルは、短期貯蔵庫と長期貯蔵庫といった2つの貯蔵を想定しているモデルである。二重貯蔵モデルは魅力的で有用なモデルではあったが、保持機能を重視した二重貯蔵モデルでは理論的に不十分であることが認識されるようになっていった。そこで、掛け算の暗算のように処理と保持が並列進行する認知活動を捉える新たな概念が必要とされた。このような背景で、Baddeley & Hitchは二重課題法を用いた実験結果から新しいモデルを提唱した。

2-2. ワーキングメモリモデル

Baddeley & Hitch (1974) に基づいたワーキングメモリモデルをFigure 1に示す。このモデルは3つのコンポーネントで構成されている。音韻ループ (phonological loop) は構音ループ (articulatory loop) とも呼ばれるコンポーネントで、音韻形態の情報の維持と貯蔵を行う。視空間スケッチパッド (visuo-spatial sketchpad) は視空間スクラッチパッド (visuo-spatial scratchpad) とも呼ばれることがあるコンポーネントで、視空間情報の維持と貯蔵を行う。そして、中央実行系 (central executive) は注意の制御システムとされ。上記の2つの従属システムを調整すると考えられている。中央実行系はNorman & Shallice (1986) の監督的注意システム (supervisory attentional system) を適用して発展させた概念である。

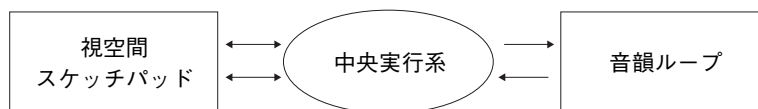


Figure 1. Baddeley & Hitch (1974) に基づいたワーキングメモリモデル

2-3. ワーキングメモリ容量と測定課題

ワーキングメモリには容量制限があり、各コンポーネントに対応したワーキングメモリ容量が存在すると考えられる。音韻ループの容量は聴覚的に刺激を呈示し、それを記銘するといった記憶課題で測定され、数唱 (digit span) や文字スパン (letter span) といった課題が用いられる。これらは、それぞれ無意味な数や文字列を主に聴覚的に呈示し、被験者に覚えさせる課題である。数唱は知能検査であるWAISやWISCでも採用されており、短期記憶容量を測定する代表的な課題であるといえる。研究によってはこれらの記憶容量は単純に短期記憶容量やワーキングメモリ容量とされている場合もある。しかしながら、Baddeleyのモデルに照らし合わせて考えると、ワーキングメモリコンポーネントの1つである音韻ループの容量に相当すると考えられる。

視空間スケッチパッドの容量は音韻ループ容量に比べると多彩であり、代表的なものといえる典型的な課題というほど定着したものは少ないように思われる。また、視空間スケッチパッドは近年では更なる細分化が検討されていて、視覚と空間のサブコンポーネントに分割

でき、それぞれ独立した受動的貯蔵、表象、維持メカニズム、操作に分類できると考えられている (Repovš & Baddeley, 2006)。両方のサブコンポーネントは視覚的注意に密接に関係している。視覚ワーキングメモリ容量が関わっている課題としては、Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano, & Wilson (1999) の視覚パターンテスト (Visual Patterns Test) があげられる。Figure 2に視覚パターンテストの例を示す。これはマトリクス内のパターンを記憶して回答するといった課題で、例えば6×6のマトリクス内の白黒のパターンがランダムに配置され、それを覚えるといった課題となる。

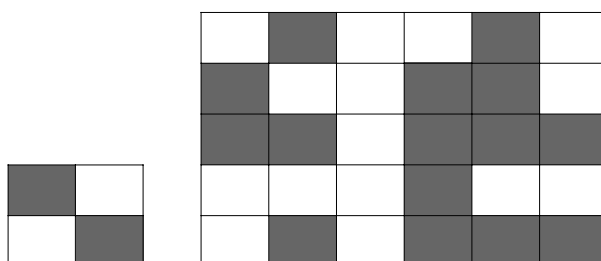


Figure 2. 視覚パターンテストの例 (Della Sala, et al., 1999 より引用)
左のパネルが最小のパターンの例で、右のパネルが最大の
パターンの例である。

空間ワーキングメモリ容量課題としてはCorsi block tapping testがあげられる。これは9つのブロックを実験者がランダムな順序で叩いていき、被験者はその順番を覚えて回答するといった課題である。これと類似した課題がOlesen, Westerberg, & Klingberg (2004) や土田・室橋 (2009) で用いられている。Figure 3に土田・室橋で用いられた課題の模式図を示す。土田・室橋の用いた課題では、被験者に9つの丸をランダムな配置で呈示し、その丸のうち1つを赤い丸とする。1試行での赤い丸の数は2から9つの範囲で呈示し、被験者は赤い丸の場所と順番を覚えるといった課題である。これらの課題によって、視空間スケッチパッドの更なる下位分類である空間ワーキングメモリ容量が測定できると考えられる。

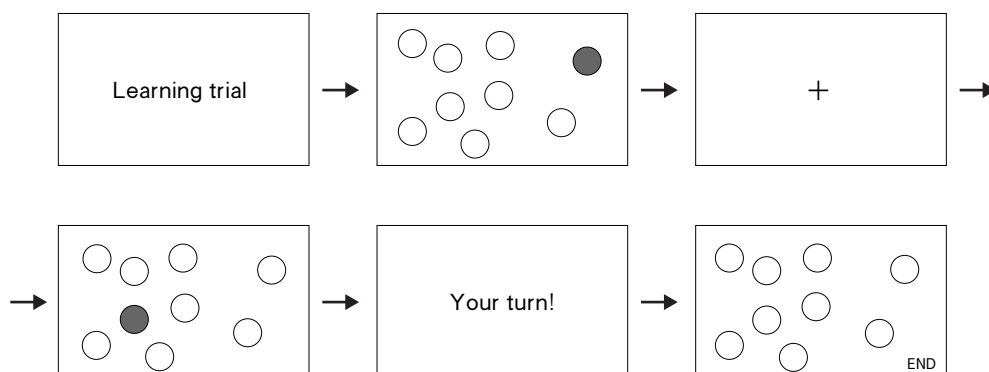


Figure 3. 土田・室橋 (2009) の空間ワーキングメモリ課題の模式図

中央実行系の容量を測定する課題も考案されている。これらはスパンテスト、複雑スパンテストと呼ばれる課題が用いられる。代表的な課題がリーディングスパンテスト (Daneman & Carpenter, 1980) やオペレーションスパンテスト (Turner & Engle, 1989) である。リーディングスパンテストは短い文章を呈示し、実験参加者は文章を音読しながら文中に示されたターゲット語を覚えるよう要求される。音読が終わるとすぐに次の試行に移り、何試行か遂行した後に呈示されたターゲット語を再生するといった課題である。オペレーションスパンテストでは参加者は簡単な計算問題を音読しながら解き、その後に呈示されるターゲット語を覚えるように要求される。これらの複雑スパンテストは、古典的な短期記憶課題のようなりハーサルによる記憶の保持が困難である点が特徴としてあげられる。複雑スパンテストは中央実行系が関与していると考えられていて、音韻ループ容量や視空間スケッチパッド容量のように領域固有なものではなく、領域一般的なものであると考えられている (Engle, Kane, & Tuholski, 1999 ; Conway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, & Engle, 2005)。

3. ワーキングメモリ容量と認知パフォーマンス

リーディングスパンテストやオペレーションスパンテストといった複雑スパンテストで測定されるワーキングメモリ容量は個人差が存在し、その個人差は古典的な短期記憶容量よりも様々な認知パフォーマンスと関連があることが報告されている。ここではそれらを概観してみたい。

3-1. ワーキングメモリ容量と高次認知課題

複雑スパンテストで測定される中央実行系のワーキングメモリ容量の個人差は文章読解 (Daneman & Carpenter, 1980), 推論 (Kyllonen & Christal, 1990), 学習 (Shute, 1991), 問題解決 (大塚, 2000) といった高次認知成績と関係があると報告されている。これらの研究ではワーキングメモリ容量を測定した後、得点によってワーキングメモリ容量高群と低群に分類してパフォーマンスの違いを検討したり、全参加者で相関分析を行ったりといった方法で検討を行っている。高群と低群の分類法は、得点の上位 $1/4$ を高群とし下位 $1/4$ を低群とする分類法や、中央値の得点である参加者を除いて上位を高群、下位を低群とする分類法などが用いられる。これらの研究では基本的にワーキングメモリ容量高群は低群よりも高次認知課題成績が良いという結果となっているといえる。

3-2. ワーキングメモリ容量と注意課題

ほとんどの高次認知課題では記憶が課題遂行に密接に関わっている。その点では、ワーキングメモリ容量の個人差との関係は分かりやすいものであるといえるだろう。しかしながら、近年では記憶それ自体はほとんど関わっていない、比較的低次の注意課題パフォーマンスにおいても関係が見られることが報告されている。Baddeley (1993) は、中央実行系それ自体は貯蔵に関わっていないと考え、注意機能の側面を強調している。中央実行系の注意機能として具体的に想定されているのが、焦点的注意 (focus attention), 分割的注意 (divide attention), 注意の切替 (switch attention), そしてワーキングメモリの内容を長期記憶に関係付けるといった能力である (Baddeley, 1996)。またその他の類似した分類では、実

行系機能として注意の転換が必要になる複数の作業を処理する（作業管理および切替）、次の作業に向けて、WMの記憶内容をモニタリングしつつ更新する（モニタリングおよび更新機能）、適切な情報に注意を向けて、不適切な情報を抑制する（注意および抑制機能）、ある課題目標を達成するために、一連の作業を計画的に遂行する（プランニング機能）、ワーキングメモリの表象を符号化したり、そして長期記憶の情報を検索する（符号化機能）といった機能が想定されている（Smith & Jonides, 1999; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter, & Wager, 2000）。こういった具体的な実行系機能のどの機能がワーキングメモリ容量の個人差に関わっているのか、様々な検討が行われている。

Conway, Cowan, & Bunting（2001）は、ワーキングメモリ容量の個人差とカクテルパーティ現象についての報告をしている。ワーキングメモリ容量低群では両耳分離聴課題中に非注意側で呼ばれた参加者自身の名前に高群よりもよく気付いていたというものである。これは、ワーキングメモリ容量低群は注意の制御能力が劣るため、自分の名前に注意が捕捉されたと考えられている。

優勢な反応の抑制に関わる課題においても報告がされている。ワーキングメモリ容量高群では低群よりもアンチサックード課題やストループ課題といった優勢な反応を抑制する課題のパフォーマンスが優れている（Kane, Bleckley, Conway, & Engle, 2001; Kane & Engle, 2003; Long & Prat, 2002）。しかしながら、Friedman & Miyake（2004）ではストループ課題などの優勢反応抑制課題の成績は複雑スパンテストと関係がないと報告している。優勢反応抑制機能とワーキングメモリ容量の個人差の関係はまだ不透明なものであり、今後の検討が必要とされている。また、当然ながら全ての注意課題パフォーマンスがワーキングメモリ容量の個人差との関係が見られるわけではない。例えば、視覚探索ではどのような条件であってもワーキングメモリ容量の個人差との関係は全く見られなかった（Kane, Poole, Tuholski, & Engle, 2006）。どのような要因がワーキングメモリ容量の個人差と注意課題パフォーマンスの間の関係を強くするのか、精査が必要とされている。

4. ワーキングメモリ容量の個人差における神経科学的研究

近年ではこのようなワーキングメモリ容量の個人差に関わる神経基盤はどうなっているのか、機能的磁気共鳴画像（functional magnetic resonance imaging; fMRI）や事象関連脳電位（event related brain potential; ERP）などの手法を用いた幾つかの研究が行われている。

4-1. fMRIおよびERPによる知見

リーディングスパンテストやオペレーションスパンテストといった中央実行系に関わるワーキングメモリの容量の個人差に関与している脳部位はどこなのであろうか。Osaka, Osaka, Kondo, Morishita, Fukuyama, Aso, & Shibasaki（2003）では、リーディングスパンテストの聴覚版といえるリスニングスパンテストを実施中にfMRIを測定して、その脳内機構を検討している。彼女らはリスニングスパンテスト実施中にワーキングメモリ容量高群の方が低群よりも背外側前頭回（dorsolateral prefrontal cortex; DLPFC）と前部帯状回（anterior cingulate cortex; ACC）の活動が増強していることを示した。また、Osaka, Osaka, Kondo, Morishita, Fukuyama, & Shibasaki（2004）はリーディングスパンテスト遂行中の脳活動を検

討し、リスニングスパンテストと同様にDLPFCとACCの活動がワーキングメモリ容量低群よりも高群で活動の増強が顕著であったことを報告している。

DLPFCとACCは行動の制御や抑制といった認知機能に関わる脳部位である。MacDonald, Cohen, Stenger, & Carter (2000) では、DLPFCは課題にとって適切な行動のトップダウン的なサポートを与え、ACCは競合する反応の対応など、より強い制御が必要とされる時にパフォーマンスを監視する役割を持っているとしている。また、ワーキングメモリ容量高群は低群よりもDLPFCとACC間のfunctional connectivityが強いことも報告されている(Kondo, Morishita, Osaka, Osaka, Fukuyama, & Shibasaki, 2004)。

ワーキングメモリ容量の個人差に関わる神経基盤の研究はERPを通しても行われている。空間分解能が高いfMRIと対照的に、ERPは空間分解能は低いものの、時間分解能に優れミリ秒単位での分析が可能である。Nittono, Nageishi, Nakajima, & Ullsperger (1999) は、多肢選択反応時間課題を用いてワーキングメモリ容量の個人差について検討している。Nittono et al. は、ワーキングメモリ容量高群は低群よりもERPの後期陽性成分であるP300の振幅が大きかったことを示した。この効果は難易度の低い2肢選択反応時間課題では見られず、難易度の高い5肢選択反応時間課題においてのみ見られている。P300振幅は刺激に配分される注意資源の量を反映すると考えられることから(Sirevaag, Kramer, Coles, & Donchin, 1989; Wickens, Kramer, Vanasse, & Donchin, 1983), ワーキングメモリ容量高群は入力された刺激により多くの注意資源を配分できたと彼らは報告している。

4-2. ERPによるワーキングメモリ容量の個人差と注意捕捉

既に見たように、ワーキングメモリ容量の個人差がどのような実行系機能と関わっているのか、これまで多くの検討が行われてきている。その中で、注意捕捉といった現象がワーキングメモリ容量の個人差と関係があると考えられている(Conway et al., 2001)。この注意捕捉という現象は神経科学的にどのように表現されているのだろうか。また、Conway et al.の研究では聴覚的な言語情報にワーキングメモリ容量低群の注意が捕捉されていたが、ワーキングメモリ容量の個人差が領域一般的なものである(Engle, et al., 1999; Conway et al., 2005)ならば、その他の領域でも低群の注意が捕捉されることがあるのだろうか。土田・片山・室橋(2008)では視覚3刺激オドボール課題を用いて、ワーキングメモリ容量の個人差と注意捕捉の関係を検討している。

リーディングスパンテストで測定されるワーキングメモリ容量の個人差はスパンテスト遂行中の課題非関連情報に対する注意を抑制する注意制御機能に関わっていると考えられている。土田他では、この注意制御機能が領域固有なのかどうか、視覚3刺激オドボール課題遂行中のERPを検討している。実験では標的刺激(15%)に対して反応をすることと、非標的刺激(15%)と標準刺激(70%)の両方を無視することが要求された。ある条件では単純な同じ幾何学図形が非標的として繰り返し呈示されたが、もう1つの条件では新奇な認識できない視覚刺激が非標的として呈示された。ワーキングメモリ容量低群($n=13$)は高群($n=13$)よりも繰り返し呈示された単純な非標的に対して大きな非標的P300振幅を惹起した。Figure 4に土田他(2008)のERP波形を示す。新奇非標的は毎回異なるため両群で同様に注意が捕捉されたが、繰り返し呈示された単純な非標的に対してはワーキングメモリ容量低群の方が高群よりも注意が抑制されずに捕捉されたと考えられる。また、ワーキングメモリ容量は言語領域だけでなく、

視覚刺激の処理においても課題非関連情報に対する注意の抑制に依存することが示唆されている。

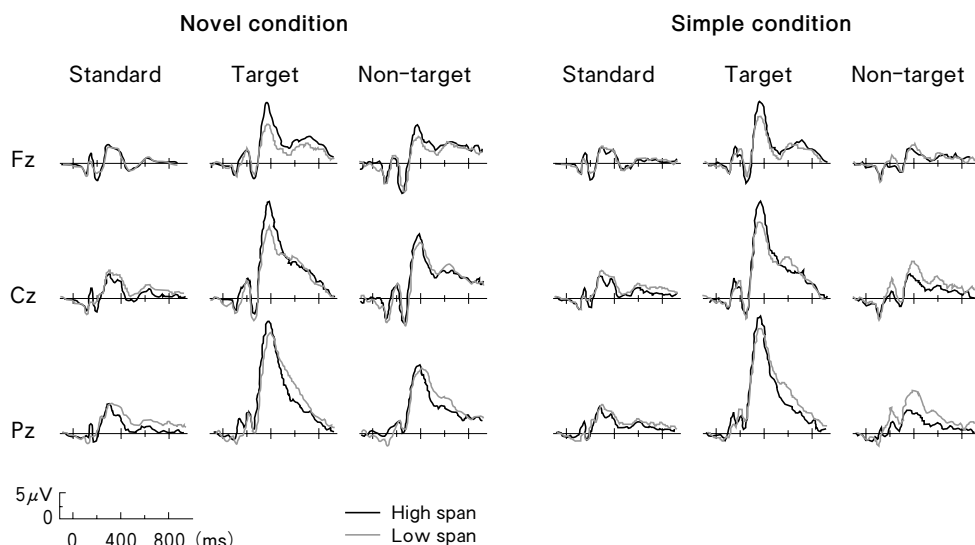


Figure 4. ワーキングメモリ容量高群・低群における視覚3刺激オドボール課題でのERP総加算平均波形
左のパネルは新奇条件、右のパネルは単純条件を示す。

5. 今後の研究課題

以上、ワーキングメモリ容量の個人差と認知パフォーマンスの関係に関するこれまでの知見を整理してきた。次に、現在注目を浴びているがまだ不透明な部分が多い重要な課題についてみてみたい。

5-1. 発達障害との関係

発達障害とワーキングメモリの間には様々な関連が指摘されている。Baddeley (1986) では失読症や計算障害の問題は中央実行系機能の障害ではないかと考えられている。また、Barkley (1997) はADHDとワーキングメモリの関わりについて想定している。これらのことから、発達障害においてワーキングメモリは問題の重要な要因の1つであると考えられる。

ADHDの主症状である不注意、あるいは衝動性といったものは実行系機能に深く関わっていると考えられる。複雑スパンテストで測定されるワーキングメモリ容量は中央実行系の機能を反映していると考えられる。このワーキングメモリ容量とADHDの間にはどのような関係があるのだろうか。残念ながら、複雑スパンテストによるワーキングメモリ容量とADHDの関係について実験的にポジティブなデータを示した研究はほとんどない。そこで、筆者は大学生・大学院生56名にウェンダー・ユタ成人ADHD診断基準(Wender Utah

Rating Scale; WURS, Ward, Wender, & Reimher, 1993) を実施し、ワーキングメモリ容量との関係を探った。健常な大学生・大学院生にも関わらず、WURSの得点はかなりの個人差が認められた。しかしながら、ワーキングメモリ容量とWURS得点の間には何の関係も見られなかった。問題点として、そもそも健常大学生を対象にしているという点、WURSがADHD傾向の全てを測定できるわけではないという点は残るものの、ADHDと複雑スパンテストで測定されるワーキングメモリ容量とは関係がない可能性は示唆された。

一方、知能検査であるWAISの数唱といったワーキングメモリの中でも短期記憶的側面が強い課題の成績とADHDの間に関係があることは多くの報告がなされている。Leffard (2009) は、Baddeleyのワーキングメモリモデルに基づき検討を行っている。ADHD症状はWISC-IVの語音系列のようなワーキングメモリ課題とは関連しなかったが、数唱の順唱といった短期記憶の側面が強いワーキングメモリ課題や、持続的注意課題のような注意の維持を要求する課題とは関連したことを彼女は報告している。ADHDに見られるワーキングメモリの問題とは、短期記憶的な側面あるいは注意の維持といった要素に限局される可能性が高いのではないかと考えられる。ワーキングメモリとADHDの関係は慎重に検討する必要があるだろう。

ADHDとワーキングメモリの関連が語られる時、必ずしも統一された“ワーキングメモリ”という単語が使われている訳ではないことに注意しなくてはならないだろう。ある時は短期記憶を意味する言葉としてワーキングメモリが使われ、ある時は実行系機能を意味する言葉としてワーキングメモリが使われる。余りに多義的にワーキングメモリという言葉が使われるため、問題の本質が分からなくなっているというのは事実であろう。ワーキングメモリという概念は複雑であるため、黎明期の研究としては多義的で便利なrag-bagとしてワーキングメモリを用いることは有効なアプローチであったと思われる。しかし、今後の方向としてはワーキングメモリの定義を明確にして、実験的に綿密なアプローチが必要なのではないかと思われる。

自閉症とワーキングメモリについては、定型発達者より成績が悪いという報告がある一方、変わらないという報告も存在する (Ozonoff & Strayer, 2001 ; Russo, Flanagan, Iarocci, Berringer, Zelazo, & Burack, 2007) 。Williams, Goldstein, Carpenter, & Minshew (2005) の研究では、高機能自閉症者では言語ワーキングメモリには問題がないが、空間WMでは問題があるという結果が報告されている。空間ワーキングメモリのリハーサルには眼球運動が密接に関わっている (Repovš & Baddeley, 2006) ことから、眼球運動に何らかの問題が考えられる自閉症においてその問題が表れることが考えられる。Williams et al.の研究に関連して、土田・室橋 (2009) では定型発達の成人における自閉症傾向の個人差と空間ワーキングメモリ成績の間の関係を報告している。彼らの研究では、自閉症傾向が高い者ほど空間ワーキングメモリ成績が低く、音韻ワーキングメモリ、複雑スパンテストによる実行系のワーキングメモリには差が見られなかったことが示されている。

これまで臨床場面における記憶課題は、最も多く使われている知能検査であるWAISやWISCの記憶課題が数唱であることから、聴覚的な記憶課題が多く用いられてきたように思われる。しかしながら、ワーキングメモリは各コンポーネントに対応した容量が存在している。自閉症におけるワーキングメモリの問題に見られるように、各コンポーネントの特性を考慮した研究が今後望まれるだろう。

5-2. トレーニングの効果

ワーキングメモリ容量はトレーニングで増大することは古典的に明らかであったが、近年、ワーキングメモリ容量のトレーニング効果がその他の課題パフォーマンスにも影響を与えることが報告されている (Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2004 ; Klingberg, Fernell, Olesen, Johnson, Gustafsson, Dahlström, Forssberg, Gillberg, & Westerberg 2005)。これらの研究ではワーキングメモリのトレーニングを一月ほど行うことで、ワーキングメモリ成績の上昇、空間ワーキングメモリ課題遂行時の脳活動の増強、推論課題成績の上昇、反応抑制成績の向上、そしてADHD症状の改善などが報告されている。これはトレーニングの効果が汎化あるいは転移していると考えられる。ワーキングメモリ課題に関わっている前頭葉、頭頂葉といった脳部位がトレーニングを通じて機能改善し、同じく前頭葉や頭頂葉が関わっている他の認知課題成績にも影響を与える、というのが彼らのトレーニング効果のロジックである。

トレーニングの効果は確認されているが、彼らの研究では複数のワーキングメモリ課題をトレーニングに用いており、どの要因が影響を与えているのかは不透明である。筆者はトレーニングにより脳活動の増強が確認されている空間ワーキングメモリ課題に的を絞り、トレーニング効果と汎化の関係について検討を行った。25日間の空間ワーキングメモリトレーニングを行った群と、何もしていないコントロール群を比較したところ、トレーニング群では空間ワーキングメモリ成績は上昇したが、コントロール群では効果が見られなかった。しかしながら、聴覚的ワーキングメモリ、実行系ワーキングメモリ、そして反応抑制成績にはトレーニングの効果は見られなかった。これらの結果は、ワーキングメモリのトレーニング効果は領域一般的というよりはむしろ領域固有的である可能性を示唆している。ワーキングメモリトレーニング効果の汎化性は教育的・心理学的に非常に魅力的で有意義なテーマである。しかし、だからこそ厳密な検討が必要である。ワーキングメモリトレーニングにおける効果の領域一般性はまだ不透明な部分が多く、現状では安易に効果があるとは言えないだろう。今後更なる検討が必要である。

6. 結 語

本論文では、ワーキングメモリにおける容量とは何なのか、その個人差がどのような認知パフォーマンスに影響するのかについて検討してきた。中央実行系の機能を反映する、複雑スパンテストで測定されるワーキングメモリ容量の個人差は、記憶が密接に関わっている高次認知機能だけでなく、記憶がほとんど関わっていない比較的低次の選択的注意課題においても影響を与えることが示唆された。

ワーキングメモリは様々な課題、そして日常場面に関連していて、更なる臨床・応用場面での研究が望まれる。しかし、ワーキングメモリという言葉は非常に便利で多義的である。今後はワーキングメモリのどの機能が関わっているのかを明確にした、臨床・応用場面での検討が必要だろう。

引用文献

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, 225, 82 – 90.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 8. New York: Academic Press. pp.47 – 89.
- Baddeley, A. D. (1986). Working memory. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (1993). Working memory or working attention? In A. D. Baddeley, & L. Weiskrantz (Eds.), *Attention: Selection, awareness, and control: A tribute to Donald Broadbent*. New York: Clarendon Press. pp.152 – 170.
- Baddeley A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology. A, Human Experimental Psychology*, 49, 5 – 28.
- Barkley, R. A. (1997). ADHD and the nature of self-control. New York: The Guilford Press.
- Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The Cocktail Party Phenomenon revisited: The Importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 331 – 335.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12, 769 – 786.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450 – 466.
- Della Sala S, Gray C, Baddeley A, Allamano N, & Wilson L (1999). Pattern span: a tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37, 1189 – 1199.
- Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press. pp.102 – 134.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 101 – 135.
- Kane, M. J., Bleckley, M. K., Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (2001). A controlled-attention view of working-memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 169 – 183.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 47 – 70.
- Kane, M. J., Poole, B. J., Tuholski, S. W., & Engle, R. W. (2006). Working memory capacity and the top-down control of visual search: Exploring the boundaries of “executive attention”. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 32, 749 – 777.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., Forssberg, H., Gillberg, C. G., & Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children With ADHD-A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44, 177 – 186.
- Kondo, H., Morishita, M., Osaka, N., Osaka, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2004). Functional roles of the cingulo-frontal network in performance on working memory. *NeuroImage*, 21, 2 – 14.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity? *Intelligence*, 14, 389 – 433.
- Leffard, S. A. (2009). Working memory deficits in children: Contributions of executive control processes and symptoms of ADHD. Dissertation Abstracts International: Section B: The Sciences and Engineering. 69 (7 – B), pp.4430.
- Long, D. L., & Prat, C. S. (2002). Working memory and Stroop interference: An individual differences investigation. *Memory and Cognition*, 30, 294 – 301.
- MacDonald III, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, 288, 1835 – 1838.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The

- e unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49 – 100.
- Nittono, H., Nageishi, Y., Nakajima, Y., & Ullsperger, P. (1999). Event-related potential correlates of individual differences in working memory capacity. *Psychophysiology*, 36, 745 – 754.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In Davidson, R. J., Schwartz, G. E., and Shapiro, D., editors, *Consciousness and Self-Regulation: Advances in Research and Theory*. New York: Plenum Press. pp.1 – 18.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature neuroscience*, 7, 75 – 79.
- 大塚一徳 (2000). 問題解決とワーキングメモリ容量の個人差 荻阪直行 (編著) 脳とワーキングメモリ 京都大学出版会 pp.257 – 276.
- Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., & Shibasaki, H. (2003). The neural basis of individual differences in working memory capacity: An fMRI study. *NeuroImage*, 18, 789 – 797.
- Osaka, N., Osaka, M., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2004). The neural basis of executive function in working memory: An fMRI study based on individual differences. *NeuroImage*, 21, 623 – 631.
- Ozonoff, S., & Strayer, D. L. (2001). Further evidence of intact working memory in autism. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31, 257 – 263.
- Repovš, G., & Baddeley, A. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139, 5 – 21.
- Russo, N., Flanagan, T., Iarocci, G., Berringer, D., Zelazo, P. D., & Burack, J. A. (2007). Deconstructing executive deficits among persons with autism: Implications for cognitive neuroscience. *Brain and Cognition*, 65, 77 – 86.
- Shute, V. J. (1991). Who is likely to acquire programming skills? *Journal of Educational Computing Research*, 7, 1 – 24.
- Sirevaag, E. J., Kramer, A. F., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1989). Resource reciprocity: An event-related brain potentials analysis. *Acta Psychologica*, 70, 77 – 97.
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1999). Storage and Executive Processes in the Frontal Lobes. *Science*, 283, 1657 – 1661.
- Squire, L. R. (1987). *Memory and brain*. New York: Oxford University Press. (Squire, L. R. 河内 十郎 (訳) (1989). 記憶と脳 医学書院)
- 土田幸男・片山順一・室橋春光 (2008). ワーキングメモリ容量の個人差と視覚3刺激小戸ボール課題における注意の捕捉の関係 生理心理学と精神生理学, 26, 217 – 228.
- 土田幸男・室橋春光 (2009). 自閉症スペクトラム指数とワーキングメモリ容量の関係: 定型発達の成人における自閉性障害傾向 認知心理学研究, 7, 67 – 73.
- Tulving, E. (1985). How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40, 385 – 398.
- Turner, M. L., & Engel, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependant? *Journal of Memory and Language*, 28, 127 – 154.
- Ward, M. F., Wender, P. H., & Reimherr, F. W. (1993). The Wender Utah Rating Scale: an aid in the retrospective diagnosis of childhood attention deficit hyperactivity disorder, *American Journal of Psychiatry*, 150, 885 – 890.
- Wickens, C., Kramer, A., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. *Science*, 221, 1080 – 1082.
- 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.