



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ワーキングメモリと学習方法の関連性
Author(s)	土田, 幸男; Tsuchida, Yukio; 室橋, 春光 他
Citation	子ども発達臨床研究, 9, 47-55
Issue Date	2017-03-15
DOI	<a href="https://doi.org/10.14943/rcccd.9.47">https://doi.org/10.14943/rcccd.9.47</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/65012">https://hdl.handle.net/2115/65012</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	47_1882-1707_9.pdf



## ワーキングメモリと学習方法の関連性

土田 幸男\*・室橋 春光\*\*

### Relationship between working memory and learning method

Yukio TSUCHIDA, Harumitsu MUROHASHI

#### 要 旨

目標指向型の記憶であるワーキングメモリには制限された容量が存在し、学習を始めとする各種認知機能と関係する。本論文では、ワーキングメモリ容量についての基礎的研究を概観し、中央実行系を中心としたワーキングメモリの役割について検討した。また、ワーキングメモリが学習方法においてどのように関与しているのか、認知負荷理論における効果とワーキングメモリの関係について概観した。最後に、ワーキングメモリという観点を踏まえた上で、今後の教育に望まれる学習方法について考察した。

キーワード：ワーキングメモリ容量、個人差、注意、学習方法、認知負荷理論

#### 1 ワーキングメモリモデル

ワーキングメモリ (working memory : WM) は古典的な短期記憶のように短時間の記憶維持を行うだけでなく、より動的で目標指向的な「何かをするために使われる記憶」である。WMには多数のモデルが存在するが、最も普及しているものはBaddeley & Hitch (1974) が提唱したものである。彼らによるWMは音韻ループ、視空間スケッチパッド、そして中央実行系といった3つのコンポーネントで構成されている (Figure 1)。音韻ループと視空間スケッチパッドは更に下位の構成要素が想定されている。音韻ループは聴覚的な

情報の維持を行う音韻ストアと、情報の操作を行う構音リハーサルから構成されている (Repovš & Baddeley, 2006; Baddeley, 2007)。視空間スケッチパッドは視空間的な情報の維持を行う視覚キャッシュや情報の操作を行うインナースクライブがLogie (1995) により提案されている。これとは別に、視覚と空間のサブシステムに分割できるという考えも存在しており (Repovš & Baddeley, 2006)、未だ議論の余地がある。そして、中央実行系は音韻ループや視空間スケッチパッドを統括する監督的な役割を担っていると考えられている。

\*琉球大学大学院医学研究科脳神経外科学講座 特命助教

\*\*北海道大学大学院教育学研究院附属子ども発達臨床研究センター 学外研究員・名誉教授



Figure 1. Baddeley & Hitch (1974) のワーキングメモリモデルを改変したモデル

## 2 WM 容量

WM には3つのコンポーネントがあり、これらにはそれぞれ容量が存在する。これまでにこの容量を測定する課題が開発されている。例えば、音韻ループの容量として各種知能検査でも用いられる数唱がある。数唱は、何桁かの数字を覚えてもらう検査であり、何桁まで覚えられるのかといった容量の制限が存在している。特に中央実行系の WM 容量を測定する課題としてリーディングスパンテストがある (Daneman & Carpenter, 1980; Osaka & Osaka, 1992; 苧阪・苧阪, 1994)。

### 2-1 WM 容量と高次認知機能

WM 容量を測定する課題であるリーディングスパンテストは、声を出して文章を音読しながら、文中にあるターゲット語を覚えるという二重課題である。先述の数唱とは異なり、何かをしながら何かを覚えてもらうという複雑な課題となっており、複雑スパンテストともいう。複雑スパンテストの成績は、数唱の成績よりも文章読解 (Daneman & Carpenter, 1980)、推論 (Kyllonen & Christal, 1990)、学習 (Shute, 1991)、問題解決 (大塚, 2000) といった高次認知課題パフォーマンスを予測する。概ね、WM 容量はこれらの成績と正の相関関係にある。

### 2-2 注意制御機能としての WM 容量

高次認知課題以外においても WM 容量は影響を与えている。余り記憶が関わっていない、より広範的な場面において WM 容量が影響を与えている可能性が指摘されている。WM 容量の機能の1つとして、妨害や干渉が多い状況においても情報を維持あるいは検索し、適切な調節を行う能力

が関与していると考えられる。困難な状況においても目標維持 (goal maintenance) を行えることが WM 容量に重要なのである。WM 容量に反映される中央実行系の機能は、注意制御機能として領域一般的に作用すると考えられている (Engle et al., 1999)。Baddeley によれば、中央実行系それ自体は貯蔵に関わっておらず、WM は本来 working attention が適切であると述べている (Baddeley, 1993)。中央実行系が担う機能とは監督的な注意制御の機能であるため、WM は記憶システムそのものというよりは、むしろ記憶に対する注意のためのシステムであるといえるだろう (Oberauer et al., 2007)。近年の認知心理学および神経科学的研究では、WM と注意の構造は広く重なり合うことが示されている (Awh et al., 2006; Postle, 2006; Gazzaley & Nobre, 2012; Diamond, 2013)。WM と注意は、同じ課題であっても注目する側面によって、WM あるいは注意の研究になりうるということが指摘されている (熊田他, 2009)。

### 2-3 WM 容量と選択的注意

WM と注意は密接な関係にあり、中央実行系は注意の制御機能として働く。その機能の1つとして困難な状況においても目標維持を行い、注意を制御することがあげられる。WM 容量高群は低群よりも注意を制御し、課題非関連情報を無視することができることが両耳分離聴課題で報告されている (Conway et al., 2001)。一方で、同様のパラダイムであっても課題非関連情報を検出させることを要求した場合には WM 容量高群の方が低群よりも成績が良いことが報告されている (Colflesh & Conway, 2007)。維持している課題目標に応じて注意が制御され、時に促進・抑制が行われると考えられる。こうした選択的注意の効果は

聴覚刺激を知覚した段階の脳活動でも報告されている。Brumback et al. (2004) は、WM 容量高群の方が低群よりも課題関連刺激に対する脳波の成分である N 100 振幅が大きかったことを報告している。一方、Tsuchida et al. (2012) では、Brumback と同様のパラダイムに妨害刺激を組み込んで検討した。実験参加者に妨害刺激は無視するよう求めた場合、WM 容量低群の方が高群よりも妨害刺激に対する N 100 頂点振幅が大きかったことを報告している (Figure 2)。このことは WM 容量低群が知覚処理の時点で、顕著性の高い新奇な妨害刺激に対する注意を抑制できなかったことを示唆している。つまり、騒がしい環境でも WM 容量が高い者は妨害となる刺激に対する注意を抑制できるのに対し、WM 容量が低い者はそれができずに妨害刺激に必要以上に注意が向いてしまうことが生じることを意味している。

WM 容量と関連が見られた他の課題としては、アンチサッカー課題 (Kane et al., 2001; Unsworth et al., 2004)、ストループ課題 (Long & Prat, 2002; Kane & Engle, 2003)、なども存在する。これらの結果は WM 容量高群の方が低群よりもパフォーマンスが良いというものであるが、そうした差は常に見られているわけではない。より目標維持 (goal maintenance) が要求される実験場面のみ表れるといえるだろう。

### 3 WM 容量と学習

#### 3-1 WM 容量の範囲

WM 容量は具体的にはどのくらいの範囲になるのだろうか。人間の短期的な記憶容量は  $7 \pm 2$  (マジカルナンバー) とされている (Miller, 1956)。近年の研究では、リハーサルの影響を除いた純粋な記憶容量は  $4 \pm 1$  程度に過ぎないと報告されている (Cowan, 2001)。このことは、複雑スパンテストなどの二重課題などを行いながら維持できる情報量とも一致することが指摘されている (荻阪, 2012)。人間の基本的な記憶容量は  $4 \pm 1$  程度であり、複雑スパンテストの課題非関連情報などの妨

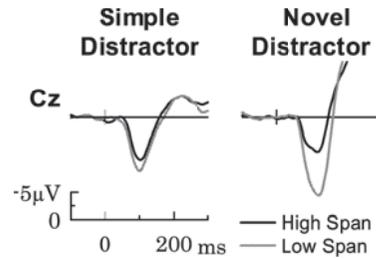


Figure 2. Tsuchida et al. (2012) における妨害刺激に対する N 100 成分

刺激呈示後約 100 ms に惹起した N 100 の振幅は単純ではなく新奇な妨害刺激でのみ、WM 容量低群の方が高群よりも大きかった。

害をいかに防いで記憶を維持できるかが WM 容量に反映される機能であると考えられる。

#### 3-2 WM と長期記憶

人間の基本的な記憶容量は明確な限界がある。しかし、われわれは学習においては  $4 \pm 1$  以上の項目を、時間をかけて記憶し、学んでいく。これは長期記憶が関与しているからである。Baddeley (2000) は Figure 1 に示した基本となるモデルに、更なるコンポーネントであるエピソードバッファを追加したモデルを提案している。エピソードバッファは中央実行系の調整を受けて、長期記憶とその他の WM コンポーネントを含むシステムの様々な範囲から統合された情報の維持を担うと想定されている (Repovš & Baddeley, 2006)。学習においてはこのエピソードバッファの働きが重要であると考えられる。ごく近年では更に修正されたモデルが提案されており、中央実行系から音韻ループと視空間スケッチパッドとの間の直接的なリンクがなくなっている (Baddeley et al., 2011)。修正されたモデルでは中央実行系から直接リンクがあるのはエピソードバッファのみであり、エピソードバッファを通して他のコンポーネントを紹介することが想定されている (Figure 3)。WM と中央実行系、そしてエピソードバッファの機能や関係については未だ検討の段階にあり今後の研究が望まれるが、WM と学習を考える上で長期記憶の関与は疑いようがない。

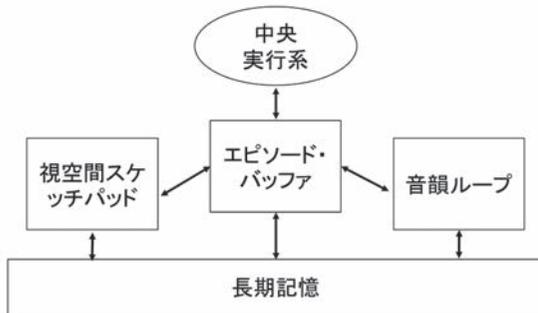


Figure 3. Baddeley et al. (2011) のワーキングメモリモデル

中央実行系とその下の3つのコンポーネントがワーキングメモリで、長期記憶との関係が想定されている。

## 4 WM と認知負荷理論

WM 容量の個人差は中央実行系の機能を反映し、具体的な機能として目標維持 (goal maintenance) が関わっている。こうした WM 容量は日常の様々な場面で関与しており、特に学習にとって重要な要因となりうることは既に指摘した通りである。WM と学習についての研究として、実践的な検討を行っている認知負荷理論の研究がある (より詳しくは、齊藤・三宅、2014 を参照)。認知負荷理論の基盤となる想定として、知覚、感覚記憶、注意、WM、そして長期記憶といった要素が参照される。特に WM は重要と考えられ、学習時に発生しうる認知負荷が増大することで WM の容量が制約され、学習に影響を及ぼすと考えられる。ここでは WM と認知負荷理論の関係を概観したい。

### 4-1 WM モデルと認知負荷理論

認知負荷理論は WM と長期記憶に基づいた理論である。近年ではマルチメディアを用いた学習について多くの研究が行われている。ここでは Scheppe & Rummer (2014) によるマルチメディア学習における認知負荷理論と WM に対する批評を見ていきたい。彼女らは認知負荷理論における Baddeley の WM モデルの問題点を上げ、Cowan (1999) による WM モデルを重用している。これは WM と長期記憶の関係が焦点となっ

ている。認知負荷理論と想定される WM モデルの間には議論があるが、両 WM モデルは相補的であり、同じものを異なる側面から見ただけに過ぎないと考えられる (Soemer, 2016)。本稿では Baddeley et al. (2011) の WM モデルを想定して、認知負荷理論が指摘している効果について見ていきたい。

### 4-2 認知負荷の効果

WM の限られた容量に起因して認知負荷の効果が生じる。ここではその効果について順を追って見ていきたい。注意離断効果 (split-attention effect) は、情報の提示法に関する時間的空間的効果である。統合されるべき2つの情報が同時あるいは連続的に提示されることで、統合が促進されると考えられている。情報が遅れて入力されて処理が逐次的になると中央実行系の負荷が高まると考えられている。モダリティ効果 (modality effect) は提示方法に関する刺激モダリティの効果である。聴覚的な情報と視空間的な情報といった異なるモダリティによる学習は、視覚テキストと絵図のような視空間で競合するモダリティ情報の学習よりも効果的であるとするものである。

冗長性効果 (redundancy effect) は提示する情報の内容に関連した効果である。異なる形式 (例えば文字と聴覚による提示) で同内容の情報を2回提示すると、冗長な情報のマッチングや統合により WM 負荷が増加するため避けるべきだということである。学習者が新規の情報を学習する際、冗長する情報を無視できない時に特に問題となる。魅力的な詳細効果 (seductive details effect) もまた情報の内容に関連した効果である。課題非関連だが興味深い情報は学習を妨げるというものである。魅力的な詳細情報は学習者の興味を引く方法として効果的と考えられるが、学習を妨げる要因ともなりうる。特に、先行知識が少ない学習者では先行知識が高い学習者よりも強く表れると考えられている。

シグナリング効果 (signaling effect) は、視覚や口頭による手がかりをシグナルとして提示する

ことで、関連情報に注意を向ける方法である。重要な情報が手がかりなしの場合、学習者の注意が逸れてしまうおそれがある時に有効と考えられている。熟達化逆転効果 (expertise reversal effect) は、熟達化が生じている先行知識が多い学習者では、先行知識が少ない学習者とは異なり、これまでの効果が逆転するというものである。先行知識が多い熟達者に初学者向けの導入ガイダンスを行っても冗長となってしまいうだろう。

#### 4-3 認知負荷と WM 容量の個人差

認知負荷理論で考えられている効果について順を追って見てきた。これらの効果は WM や長期記憶と密接に関わっている。注意離断効果と冗長性効果は領域普遍的な制御機能 (中央実行系機能) と類似した認知負荷によって、モダリティ効果は Baddeley の WM コンポーネントにより説明可能であるとされる (齊藤・三宅, 2014)。熟達化逆転効果も長期記憶やエピソードバッファを想定した Baddeley et al. (2011) のモデルで解釈可能であろう。

魅力的な詳細効果は、WM 容量の個人差によって影響を受けることが報告されている (Schank & Wiley, 2006)。魅力的な情報は課題非関連情報と言い換えることができる。2-3 で見たように、WM 容量と課題非関連情報の抑制は密接な関係がある。また、これらの現象における WM 容量の個人差は、注意離断効果の個人差と関連することが示唆されている (Schweppe & Rummer, 2014)。最後に、シグナリング効果は WM 容量が低い学習者の注意・目標維持を補助する手段として働くと考えられる。

WM は学習場面においても密接な影響を及ぼす。現状では認知負荷理論における各種効果が WM と関係があると考えられ、学習指導においてはこれらの要素を押さえることが期待されるだろう。今後、WM モデルと WM 容量の個人差を踏まえ、より実践的な認知負荷理論の研究が望まれる。

## 5 WM と発達障害

WM は自閉症スペクトラム障害、ADHD、そして学習障害といった発達障害のメカニズムに密接に関係している (室橋, 2014)。特に、学習障害は全般的な知的能力には問題がないものの、読み、書き、そして計算といった特異的な能力にのみ困難を持つ発達障害である。ここでは WM と発達障害そして学習について見ていきたい。

### 5-1 WM 容量と学習スキル

学習障害では特異的な学習スキルのつまずきが見られ、様々な原因が考えられているが、その1つとして WM に何らかの問題があると考えられる。WM 容量と学習スキルの関係を示す例を見てみたい。土田・室橋 (未発表) では、大学生・大学院生 53 名 (平均年齢 23.5 歳、 $SD=3.5$ 、女性 27 名) における WM 容量と LDI-R の基礎的学力項目の間の関係を調査した。この研究では中央実行系の WM 容量を測定するテストとしてリーディングスパンテスト (学阪, 2002) を、音韻 WM 容量を測定するテストとしては WAIS-R 数唱の順唱を用いた (Wechsler, 1981)。加えて、LDI-R (上野他, 2008) の基礎的学力項目への回答を求めた。LDI-R は学習障害のチェックリストである。LDI-R は学習障害で問題となる読む、書く、計算するといった項目に加え、学習場面で問題となりやすい聞く、話す、推論するといった項目が含まれている。対象者のスキルパターンが、学習障害に見られる特定領域のつまずきとどの程度一致しているかを 4 段階で評定する。本来は保護者や教員などが対象となる児童を評価するために使われる。この研究では実験参加者自身の子ども時代がどうだったかを振り返らせ、自己評価を行わせた。点数が高いほど特定領域に問題を認めることとなる。

Table 1 に WM 容量と LDI-R の間のピアソンの相関係数を示す。リーディングスパンテストと順唱の間には正の相関が見られているが、基礎的学力項目と関係が見られたのはリーディングスバ

Table 1 WM 容量と LDI-R の相関係数

	順唱	LDI-R 基礎的学力項目					
		聞く	話す	読む	書く	計算する	推論する
リーディング スパンテスト	.36**	-.27	-.34*	-.29*	-.08	-.08	-.11
順唱		-.14	.07	-.16	-.04	-.19	-.24

Note.  $n=53$ 、\* $p<.05$ 、\*\* $p<.01$

ンテストのみであった。関係が見られた項目は「読む」に加えて「話す」の項目であった。リーディングスパンテストの成績が低いと、「読む」「話す」のチェック項目が多いという負の相関が見られた。「読む」の項目のチェック項目は、「ひらがなやかたかななどの文字を読む際に、たどり読みになる。」や「音読はできて、内容を理解していないことがある。」などの基本的な文章読解の要素で構成されている。「話す」の項目は、「たどたどしく話す。」や「内容を分かりやすく伝えることが困難である。」などの基本的な話す要素で構成されている。どちらの項目も簡単なものから中央実行系の関与が予想される高度な項目まで含まれている。この結果は大学生・大学院生を対象に過去を振り返らせての自己評価であり、あくまで参考データに過ぎない。学習障害で問題となる要素がチェックされているとうよりは、むしろ個人内での苦手意識を反映していると考えられる。しかし、WM 容量が学習スキルに影響を与えていることを示唆するデータではあるといえよう。学習指導を行う際は、認知負荷理論の各効果を踏まえて、WM 容量の負荷を調整することが重要となる。

## 5-2 発達障害における学習と支援

学習障害だけでなく、自閉症スペクトラム障害や ADHD においても学習の問題は見られ、WM の問題が関係していると考えられる。WM そして注意機能の問題は読み、書き、計算にとどまらず、幅広く学習場面での問題として表れる。学習の困難さは WM 容量のプロフィールと関連していることが報告されている (Alloway, 2011 湯澤・湯澤訳 2011)。すなわち、音韻 (あるいは言語)、視空間、中央実行系の WM 容量の得手不得手によ

り苦手な項目も異なり、支援の方法も変わってくると考えられる。認知負荷理論で見てきた各種効果のみならず、より学習者の特性に応じた個別支援が必要である。

## 5-3 WM 容量が高いことは常に良いことなのか

これまで WM 容量の個人差を扱った先行研究のほとんどが、WM 容量が低い者は何らかの成績が悪いという結果であった。しかしながら、近年では WM 容量が高い者は注意の制御や焦点化に優れるため分析的な問題解決に優れているが、創造的な問題解決は WM 容量に依存していないため、過剰な注意の制御や焦点化が問題解決の妨げになるという報告が存在する (Wiley & Jarosz, 2012)。このことは、むしろ WM 容量が低い者の方が創造的な問題解決を得意とすることがあることを示唆している。また、学習障害や ADHD を持つ者の方が拡散的な思考に優れ、創造性が高いのではないかという見解と関連している (上野、2003、2006)。WM 容量が低いことは常にデメリットになるとは限らないのである。学校場面などでは WM 容量が要求される事態が非常に多く存在するが、そういった時の困難を的確に援助し、本来の持つ能力を引き出すこそ教育に求められることであろう。

人間は様々な可能性を持っている。教育では、その可能性を発現し伸ばしていくことが求められるといえよう。これまで WM の基本的な理解を踏まえ、WM が学習に与える影響を見てきた。教育で人の可能性を伸ばしていくには、適切な教授法が必要となる。それを考える際に WM に対する理解はひとつの手助けとなりうるのではないかと考えられる。

## 6 まとめ

本論文では、WMの基本的機能やWM容量の個人差について概観した。WM容量の個人差は学習に影響する大きな要因となりうる。続いて学習指導の観点から、認知負荷理論とWMの関係について概観し考察した。教育場面の応用においては、これまで現場の先生方が実践してきた指導を心理学的に説明する段階に留まっているかもしれない。しかし、学習指導を考えるにあたってWMという要素を踏まえることは重要であり、以下にいくつかの要点を示す。

1. 聴覚的な情報と視空間的な情報といった異なるモダリティによる学習は、視覚テキストと絵図のような視空間で競合するモダリティ情報の学習よりも効果的である。

2. 学習者が新規の情報を学習する際、冗長な情報を無視できない状況では、学習効果が薄れる可能性がある。

3. 魅力的な詳細情報は学習者の興味を引く方法として効果的と考えられるが、学習を妨げる要因ともなりうる。特に、先行知識が少ない学習者では、先行知識が高い学習者よりも強く表れると考えられる。

4. シグナリング効果は、視覚や口頭による手がかりを呈示することで、関連情報に注意を向ける方法である。重要な情報が手がかりなしの場合、学習者の注意が逸れてしまうおそれがある時に有効と考えられる。

5. 熟達化が生じている先行知識が多い学習者では、先行知識が少ない学習者とは異なり、これまでの効果が逆転する。先行知識が多い熟達者に初学者向けの導入ガイダンスを行っても冗長になってしまう。

## 引用文献

Alloway, T. P. (2011). *Improving working memory: Supporting students' learning*. London: Sage Publications.

(T.P. アロウェイ 湯澤美紀・湯澤正通 (訳) (2011).

ワーキングメモリと発達障害：教師のための実践ガイド 2 北大路書房)

- Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S.-H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, *139*, 201-208.
- 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. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford: Oxford University
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (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., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. *Neuropsychologia*, *49*, 1393-1400.
- Brumback, C. R., Low, K. A., Gratton, G., & Fabiani, M. (2004). Sensory ERPs predict differences in working memory span and fluid intelligence. *NeuroReport*, *15*, 373-376.
- Colflesh, G. J. H., & Conway, A. R. A. (2007). Individual differences in working memory capacity and divided attention in dichotic listening. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*, 699-703.
- 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.
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In: A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press. pp.62-101.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, *24*, 87-185.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal*

- of *Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Diamond, A. (2013). Executive function. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- 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.
- Gazzaley, A., & Nobre, A. C. (2012). Top-down modulation: bridging selective attention and working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 129-135.
- 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.
- 熊田孝恒・須藤智・日比優子 (2009). 高齢者の注意・ワーキングメモリ・遂行機能と認知的インタフェース 心理学評論, 52, 363-378.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity? *Intelligence*, 14, 389-433.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hove, Sussex: Lawrence Erlbaum Associates.
- Long, D. L., & Prat, C. S. (2002). Working memory and Stroop interference: An individual differences investigation. *Memory and Cognition*, 30, 294-301.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- 室橋春光(2014). 発達障害におけるワーキングメモリー特性を活かした学習支援 LD研究, 23, 134-141.
- Oberauer, K., Süß, H. -M., Wilhelm, O., & Sander, N. (2007). Individual differences in working memory capacity and reasoning ability. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory*, New York: Oxford University Press. pp.49-75.
- 大塚一徳(2000). 問題解決とワーキングメモリ容量の個人差 苧阪直行(編著) 脳とワーキングメモリ 京都大学出版会 pp.257-276.
- 苧阪満里子(2002). 脳のメモ帳 ワーキングメモリ 新曜社
- Osaka, M., & Osaka, N. (1992). Language-independent working memory as measured by Japanese and English reading span tests. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 30, 287-289.
- 苧阪満里子・苧阪直行 (1994). 読みとワーキングメモリ容量 心理学研究, 65, 339-345.
- 苧阪直行(2012). 前頭前野とワーキングメモリ 高次脳機能研究, 32, 7-14.
- Postle, B. R. (2006). Working memory as an emergent property of the mind and brain. *Neuroscience*, 139, 23-38.
- Repovš, G., & Baddeley, A. G. (2006). The multi-component model of working memory: Explorations in experimental cognitive psychology, *Neuroscience*, 139, 5-21
- 齊藤智・三宅晶 (2014). ワーキングメモリ理論とその教育的応用 湯澤正通・湯澤美紀(編著) ワーキングメモリと教育 第1章 (pp.3-25) 北大路書房
- Schank, C. A., & Wiley, J. (2006). An examination of the seductive details effect in terms of working memory capacity. *Memory and Cognition*, 34, 344-355.
- Schweppe, J., & Rummer, R. (2014). Attention, working memory, and long-term memory in multimedia learning: An integrated perspective based on process models of working memory. *Educational Psychological Review*, 26, 285-306.
- Shute, V. J. (1991). Who is likely to acquire programming skills? *Journal of Educational Computing Research*, 7, 1-24.
- Soemer, A. (2016). The Multicomponent Working Memory Model, Attention, and Long-term Memory in Multimedia Learning: A Comment on Schweppe and Rummer (2014). *Educational Psychological Review*, 28, 197-200.
- Tsuchida, Y., Katayama, J., & Murohashi, H. (2012). Working memory capacity affects the interference control of distractors at auditory gating. *Neuroscience Letters*, 516, 62-66.

- 上野一彦 (2003). LD と ADHD 講談社+ $\alpha$  新書
- 上野一彦 (2006). LD とディスレグシア 講談社+ $\alpha$  新書
- 上野一彦・篁倫子・海津亜希子 (2008). LDI-R — LD 判断のための調査票. 日本文化科学社.
- Unsworth, N., Schrock, J. C., & Engle, R. W. (2004). Working memory capacity and the antisaccade task: Individual differences in voluntary saccade control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 30, 1302-1321.
- Wechsler, D. (1981). *WAIS-R Manual: Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised*. New York, NY: Psychological Corporation.
- (品川不二郎・小林重雄・藤田和弘・前川久夫 (訳編著) (1990)). 日本版 WAIS-R 成人知能検査法 日本文化科学社)
- Wiley, J., & Jarosz, A. F. (2012). Working memory capacity, attentional focus, and problem solving. *Current Directions in Psychological Science*, 21, 258-262.

## Abstract

Working memory is a memory for goal-directed behavior with limited capacity. Working memory capacity related to various cognitive functions including learning. In this article, we reviewed fundamental research on working memory capacity and examined the role of working memory focusing on the central executive. In order to examine how working memory can function in learning method, we also summarized the relationship between working memory and the effect in cognitive load theory. Finally, in the light of the perspective of the working memory, we discussed what is hoped for future education.

**Key Words** : working memory capacity, individual difference, attention, learning method, cognitive load theory