

# 大学生におけるワーキングメモリトレーニングの 効果とその持続性・汎化性の検証

林 裕子<sup>1</sup>, 小林 大晟<sup>2</sup>, 豊重 剛<sup>3</sup>

## Working Memory Training for Japanese Learners of English : Insights into Retention and Transfer Effects on Cognitive and Foreign Language Development

Yuko HAYASHI, Taisei KOBAYASHI, Tsuyoshi TOYOSHIGE

### 要 旨

本稿では、大学生を対象に集中的なワーキングメモリトレーニング（WMT）を実施し、それが言語能力とワーキングメモリ改善に及ぼす効果、並びに、その効果の持続性・汎化性を検証した。本研究は、統制群（ $n=25$ ）と5週間のトレーニングを受けるWMT群（ $n=36$ ）を対象とし、WMTの前後と3ヶ月後に言語能力テスト（日本語・英語）、ワーキングメモリ検査、知能検査を実施した。WMT群は、言語性・視空間性短期記憶及びワーキングメモリ課題において評価値が改善した。言語性ワーキングメモリについては統制群よりも高い評価値が得られ、その改善は3ヶ月後も維持されていた。さらに、WMT群では、非言語性IQにおいても持続性のある改善効果が確認された。日本語・英語の言語能力はWMTの前後で変化は見られなかった。ワーキングメモリモデル（Baddeley, 2000, 2003）に基づくトレーニング効果の分析を行いながら考察を深めるとともに、言語指導とWMTの二重アプローチの可能性について論じ、言語能力とワーキングメモリの関連性について新たな洞察を加える。

### 1. はじめに

ワーキングメモリは一時的な情報の保持と処理を行い、学習・理解・計算など、日常生活のさまざまな行動場面で必要とされる高次認知機能を支える動的な記憶システムを指す（Baddeley, 2003）。レストランにてチップの額を暗算して渡す、文章理解のために読んだ内容と既存の知識を絶えず照らし合わせるなど、課題を遂行するために必要な情報の処理と保持の並立処理を支える役割を果たすことから、目標指向

---

<sup>1</sup> 佐賀大学 文化教育学部 教科教育講座  
<sup>2</sup> 福岡大学 人文学部 英語学科（4年次生）  
<sup>3</sup> 福岡大学 人文学部 教育・臨床心理学科（4年次生）

型の記憶とされる (Miyake & Shah, 1999; 苧阪, 2002)。複雑・多様化が進む今日のグローバル社会において、スピーキングや表現力、コミュニケーション能力育成を重んじる発信型の英語教育の重要性が論じられ始めて久しいが (国立教育政策研究所, 2012)、それらの高次認知能力を支えるシステムであるワーキングメモリが外国語能力の発達に果たす役割については一致した見解が報告されていない。筆者らが知る限り、横断研究法や準実験計画法に基づいた先行研究が多く、それらの研究では、一時点で測定されたワーキングメモリと (読解やスピーキングなどの) 言語能力の静的な統計的關係が示されており、双方の発達の側面とは結びつけ難い。本稿では、英語を外国語として学ぶ (English as a Foreign Language: EFL) 大学生を対象に、ワーキングメモリを強化するための5週間の集中的トレーニングを実施し、ワーキングメモリの改善とそれが言語能力発達に与える効果について検証する。介入 (実験) を実施するという動的アプローチを用いることにより、外国語能力発達におけるワーキングメモリの役割について新たな視点で考察を深めることを目指す。

## 2. 先行研究

### 2.1. ワーキングメモリの歴史

#### 2.1.1. 二重貯蔵庫モデル

心理学をはじめその関連領域の分野において多様な記憶研究が進められており、人間の記憶システムを想定するさまざまな理論的モデルが構築・提唱されている (Miyake & Shah, 1999)。代表的な記憶モデルに、短期記憶と長期記憶の2つの記憶システムを人間の記憶の基本とする二重貯蔵庫モデル (Atkinson & Shiffrin, 1971) がある。図1に示す Atkinson & Shiffrin のモデルによると、目や耳、皮膚など五感でとらえた情報は感覚記憶として一時的に保持され、そのうち注意を向けられた情報のみが短期貯蔵庫に入ると仮定されている。短期貯蔵庫内 (short-term store: STS) の情報はリハーサルや符号化 (イメージ化や体制化などの精緻化処理) などの記銘処理により保持され、長期貯蔵庫へ転送される (高野, 1995)。STS は、情報の一時的保持に加え、長期貯蔵庫からの情報を検索する役割も担う。長期貯蔵庫に転送された情報は、長期記憶として永久的に保持されると想定されている。

#### 2.1.2. ワーキングメモリモデル

記憶の保持のみを問題とする二重貯蔵庫モデルでは説明しがたい病状 (短期記憶と長期記憶の乖離) (Warrington & Shallice, 1969) や実験結果 (単語スパン値と読解力の無相関) (Daneman & Carpenter,

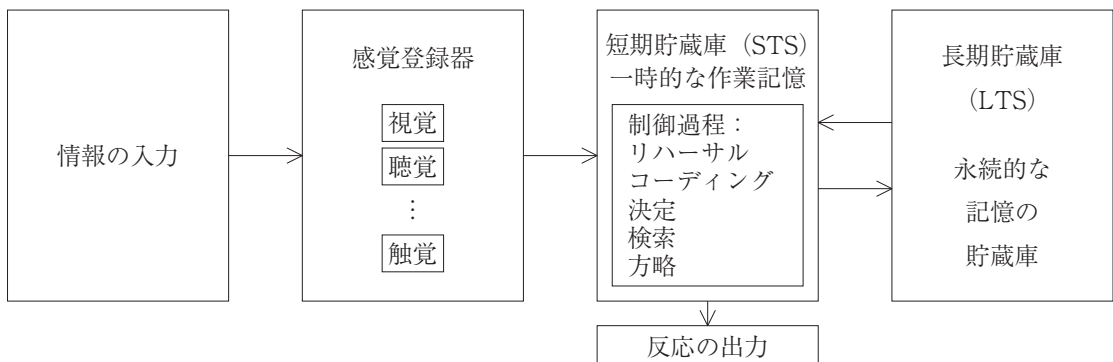


図1 二重貯蔵庫モデル (Atkinson & Shiffrin, 1971; 図は高野, 1995: 15に準拠)

1980) が報告されるようになり、情報の保持と処理の並立処理を想定する新たな記憶システムの構築・提唱への試みが始められた。本稿では、Atkinson & Shiffrin の二重貯蔵庫の概念を発展させた、Baddeley & Hitch (1974) のワーキングメモリモデルの拡張版 (Baddeley, 2000) を理論的枠組みとして使用する。

図2の概略図が示すように、バドリーのモデルにおける作業記憶は、中枢的機能を果たす中央実行系 (central executive) と、それを補佐する音韻ループ (phonological loop)、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) の3つの従属システムの4つの部分から成り立つと想定されている (Baddeley, 2000, 2003)。音韻ループは、音韻情報を内的な言語の反復によるリハーサル (subvocal rehearsal) を用いて一時的に保持する役割を担う。音韻ループは音韻貯蔵 (phonological store) と構音リハーサル (articulatory rehearsal) の2つのシステムから構成され、聴覚呈示された刺激は直接音韻ストアに入力され、視覚呈示による刺激は、視覚から聴覚コードに変換後、構音リハーサルを経て音韻ストアに入力されると想定されている。視空間的スケッチパッドは、言語化できない情報、つまり、言語の音韻体系に組み入れられない視覚的・空間的情報 (絵、イメージ、位置など) の保持を行う特殊システムを指す。視空間的スケッチパッドは、視空間情報を保持する視覚キャッシュ (visual cache) と、その情報の想起やリハーサルなど、より能動的な機能を担う内的書記 (inner scribe) から成り立つと想定されている。エピソード・バッファは Baddeley (2000) によって新たに追加された従属システムであり、音韻ループや視空間スケッチパッド、長期記憶からの情報をまとまり (chunks) へと結合させ、多面的な要素を持つ1つの表象として一時的に保持する役割を担う (Baddeley, 2003)。中央実行系は、それぞれの従属システムの働きを管理し、注意のコントロール、情報処理の抑制などの制御機能を担う。そのほか、長期記憶との相互作用を介し言語性・視覚性情報を統合・操作するなど、さまざまな高次認知活動に必要な処理の実行と一時的な情報の保持を行うことから「心の作業場」としての機能を兼ね備える中枢的存在である (高野, 1995)。

## 2.2. ワーキングメモリと言語習得

ワーキングメモリの役割は言語・認知発達に関わる様々な領域において検証され、重要性を支持する報告が多く見受けられる。認知発達心理学や脳科学の分野において、自閉症スペクトラム障害 (Autistic Spectrum Disorder : ASD) や特異性言語発達障害 (Specific Language Impairments : SLI)、学習障害

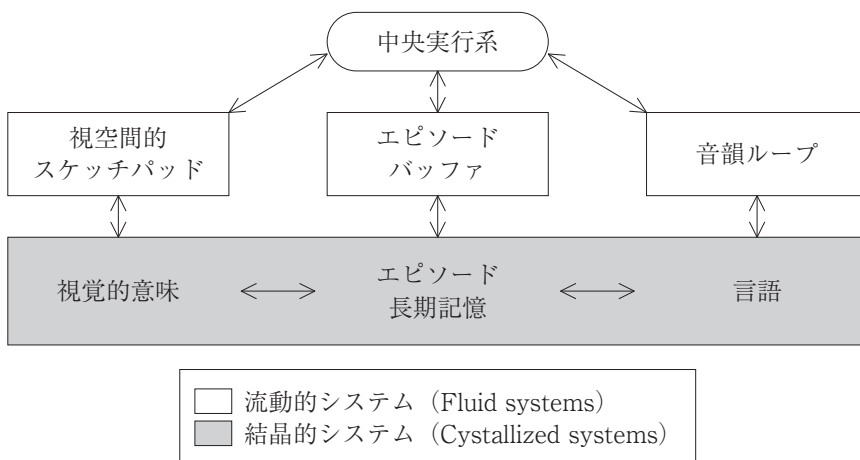


図2 Baddeley のワーキングメモリモデル (Baddeley, 2000, 2003)

(learning difficulty)、注意性欠陥・多動性障害 (Attention Deficits and Hyperactivity Disorder : ADHD) などの各種の発達障害との関連に焦点を当て、ふるい分け・診断・教育などのさまざまな目的でワーキングメモリ容量の測定が実施されている。ワーキングメモリと発達障害に関する詳細な概観は Holmes, Gathercole & Dunning (2010) や Gathercole & Alloway (2006) を参照されたい。

Alloway らによって英国在住の児童・生徒を対象に実施された研究では、読み書きや算数能力を含む学力面の到達度は、ワーキングメモリ容量によって予測できると示された (Alloway & Alloway, 2010; Swanson, Howard & Saez, 2006)。つまり、ワーキングメモリ容量の評価値が高い児童は、読み書き能力や算数能力も高いという正の相関関係が認められたのである。さらに、重回帰分析の結果、児童期の学力発達を支える語彙力や読解力やメタ言語能力などの影響を取り除いた後で、ワーキングメモリ容量 (予測因子) が単独で (物語文・解説文などの) 作文力の分散を説明していることが示された (McCutchen, 1996; Swanson & Berninger, 1995)。つまり、ワーキングメモリを読み書き能力発達を支える重要な認知機能として位置付ける結果であると解釈できる。Alloway & Alloway (2010) は、IQ とワーキングメモリ容量は各々で有意に学力を予測していることを示し、ワーキングメモリは学習潜在能力、IQ は既存知識の指標になると両者の役割を区別した。

ワーキングメモリの役割は第二言語習得分野においても検証が進められている。本稿は英語を外国語 (Foreign Language : FL) として学ぶ EFL 環境における学習者を対象とすることから、次項では当該分野の中でも特に外国語学習に関する先行研究を概観する。

### 2.3. 外国語学習におけるワーキングメモリの役割

言語習得分野の先行研究において、言語理解や産出に果たすワーキングメモリの役割は多くの研究者に検証されており、習熟度 (Harrington & Sawyer, 1992; Nakanishi & Yokokawa, 2011)、構文理解 (Miyake & Friedman, 1998)、読解力 (Walter, 2004)、口頭表現 (Mota, 2003)、リスニング力 (Sakuma, 2011) など、広範囲の領域で正の相関関係が認められている。つまり、ワーキングメモリ容量評価値が高い学習者は、上記の領域においても高成績を取めるという傾向が示されている。更に、言語間をまたがるワーキングメモリ容量の検証も進められている。Osaka & Osaka (1992) は、第一言語 (first language : L1) で測定したワーキングメモリの評価値が高い学習者は FL で測定した場合も高い評価値を取めるという相関関係から、読みにおけるワーキングメモリは言語構造に依存しないと提唱した。最近では、脳科学的知見から検証した Takeuchi, Ikeda & Mizumoto (2012) の研究において、(スキミング・推測など) 読解ストラテジーを活用する際は言語間でワーキングメモリの活性化レベルが異なり、より自動化された L1 (日本語) の方が低いと報告されている。先述の先行研究の中から本稿では特に、言語習得の観点から L1 と FL の双方の言語においてワーキングメモリ容量を測定し言語力との関連を検証した Sakuma (2011) と Walter (2004) の報告に注目したい。

Sakuma (2011) は外国語活動に従事している小学校 1 ~ 6 学年児童を対象に、選択的注意能力 (selective-attentional abilities) とワーキングメモリを日本語と英語において測定し、それらと英語のリスニング能力との関係を検証した。選択的注意能力はストループ検査、ワーキングメモリは数唱 (Digit Span) を用いて測定された。ストループ検査では、呈示された色名単語 (例 : 青) とそれが書かれたインクの色 (赤) が異なる場合に、(青を無視して) インクの色を呼称することが求められる (赤)。自動的に活性化された単語の意味表象が色名呼称に干渉するため、色名語とインクの色が一致している場合に比べ反応が遅れる現象をストループ効果という (Stroop, 1935)。それとは逆に、インクの色が色名語の文字情報の認知を邪魔するために起こる反応の遅れを逆ストループ効果という (箱田・渡辺, 2005)。数唱

は、呈示された数系列を聴知覚後ただちに復唱する短期記憶課題である。最大9桁まで上がり、正確に再生できた系列の桁数がスパン値（評価値）となる。英語のリスニング能力を結果因子とした重回帰分析において、各学年で異なる相関が示された。1年生のモデルでは、日本語のワーキングメモリ、2年生では、英語のワーキングメモリが有意な予測因子であることが示された。4・5年生のリスニング能力は、選択的注意能力（逆ストループ検査）と日本語のワーキングメモリによって有意に予測された。

これらの結果を踏まえ、児童の認知能力の発達段階に応じた外国語活動を実施することの重要性が述べられている。具体的には、日本語（1年生）や英語（2年生）での反復活動を活用した英単語や表現の記銘学習、更に、他教科で培った既存知識の活用や（単語の形・意味や文構造などの）体制化学習の実践（4・5年生）が提案されている。しかし、ここで留意したい点は、Sakuma（2011）が実施した数唱課題は、順唱（数系列再生）のみが含まれており、逆唱（数系列を逆から再生）は含まれていない。順唱は、聴知覚された系列が音韻的符号化を経て直接再生される短期記憶課題である。一方で、逆唱は、数系列を保持しながら、同時に逆転させるという認知処理が伴う音韻的ワーキングメモリである（國見, 2007）。したがって、Sakumaの研究で示された相関は、厳密にはリスニング能力における「短期記憶力」の役割と解釈すべきであり、外国語学習・習得におけるワーキングメモリの役割についての見識を深めるためには、より多面的にワーキングメモリ容量を測定する必要がある。

Walter（2004）の研究では中級前半と中級後半レベルの2グループの英語学習者（L1：フランス語）を対象に、L1と英語（FL）でのWM容量と英語読解力の関係が検証された。WalterはDaneman & Carpenter（1980）のリーディングスパンテスト（Reading Span Test：RST）に基づいたフランス語・英語版RSTを実施した。Daneman & CarpenterのRSTは、次々に（一文ずつ）呈示される短文を音読しながら文末単語を憶えるという二重課題を設定し、読みに関するワーキングメモリ容量の個人差を推定する課題である。2文セット、3文セットというように、被験者が続けて読む文章の数はRSTの進行とともに増え、保持する単語数も多くなる。ワーキングメモリを運用する際の認知資源には容量制限があるため、RSTの文章数が増えるにつれ読みの処理と単語保持のための容量配分が困難になると想定される（Daneman & Carpenter, 1980）。WalterはDaneman & CarpenterのRSTでは保持のみが測定されていると指摘し、保持（単語を憶える）と処理（文章の意味的正誤判断、logical / illogical sentences）の二重課題を取り入れた英語とフランス語の2か国語版RSTを開発し実施した。その結果、L1よりFLで測定したワーキングメモリ評価値の方がFL読解力との相関が高いという結果が得られた。また、その相関は英語力の低いグループ（中級前半）の方がより高いことが示された。この結果から、ワーキングメモリを強化するための何らかの教育的及び研究的措置を実施した場合、上級者に比べ、初級・中級レベルの学習者がその恩恵を顕著に受ける可能性が示唆される。

言語習得に果たすワーキングメモリの機能を支持する先行研究が増加する一方で、ワーキングメモリを多面的に測定した研究の例は少ないため、学習者のワーキングメモリの詳細なプロフィールが確立されていない傾向にある。また、データ収集における一時点のワーキングメモリ容量と他の言語・認知能力との有意な相関関係はあくまで静的な関係に過ぎない。したがって、より動的な関係、すなわち、強化されたワーキングメモリ容量が他の言語・認知能力の発達に及ぼす効果については、実際にワーキングメモリトレーニング（Working Memory Training：WMT）を一定の期間実施し、その効果を継続的に検証していく必要がある。本稿では、大学生を対象に同課題に取り組み、WMTが言語能力（日本語・英語）及び認知能力（ワーキングメモリ・非言語性IQ）に及ぼす効果を検証し、効果の持続性と汎化性について考察を深めることを目的とする。

## 2.4. ワーキングメモリトレーニング

近年、Cogmed (<http://www.cogmed.com/>), Jungle Memory (<http://junglememory.com/>), Cognifit (<https://www.cognifit.com/>) など、多様な WMT プログラムが開発され、研究・教育・臨床研究の分野において世界的に活用されている (Melby-Lervåg & Hulme, 2013)。Cogmed は Klingberg をはじめとするスウェーデンカロリンスカ大学の研究者のグループによって開発・検証され (Olesen, Westerberg & Klingberg, 2004; Klingberg, Forssberg & Westerberg, 2002; Klingberg et al., 2005)、近年では、欧米やアジア諸国で幅広く普及している WMT プログラムである。プログラム内容の詳細は3.3項をご参照いただきたい。欧米を中心に、トレーニング効果の有無や効果の持続性・汎化性を検証する縦断的研究が増加している。児童を対象とし、週5日×5週間の集中的なトレーニングを実施した研究では、改善されたワーキングメモリはトレーニング終了から6ヶ月間持続されていたほか、数学能力 (Holmes, Gathercole & Dunning, 2009) や読解力 (Dahlin, 2011) などの学力向上にも結び付けられたことが報告されている。しかし、それらは「Isolated findings ([他の研究による裏付けが伴っていない] 孤立した結果) (Gathercole, Dunning & Holmes, 2012: 202)」であるため、WMT と学力スキルの関連性は十分に確立されていない。そのほか、日常生活における認知機能や注意能力、職業的パフォーマンスにおいてもトレーニング効果の広がりが見られている (Lundqvist, Grundström, Samuelsson & Rönnerberg, 2010)。更に、WMT と併せて、学習を自ら計画する・評価するなどのメタ認知方略指導などの介入を取り入れることでより高い教育的効果が期待できるとの見解もある (Klingberg, 2010)。

Alloway, Bibile & Lau (2013) は、トレーニング効果の持続性・汎化性に加え、トレーニングの頻度の効果を検証した。被験者 (学習困難を持つ児童94名) を統制群 (Control) とトレーニングの頻度で異なる WMT-Low (週1) と WMT-High (週4) の2つの実験群に分け、コンピュータで行う8週間のトレーニング (Jungle Memory) が進められた。トレーニング効果の検証にあたり、ワーキングメモリ、知的能力 (言語性・非言語性 IQ)、学力 (スペリング・算数) の検査がトレーニング実施の直前 (プレテスト)、直後 (ポストテスト)、8ヶ月後 (追跡テスト) の3時点でそれぞれ実施された。ワーキングメモリは Automated Working Memory Assessment (AWMA) II (Alloway, 2012) を用いて測定され、トレーニング内容とは重複しない刺激・タスクが使用された。ポストテストでは、統制群と WMT-Low 群ではどの検査においてもスコアの変化は見られなかったのに対し、WMT-High 群では算数以外の全検査、すなわち、未経験の言語性・視空間性ワーキングメモリ検査と (言語性・非言語性) 知能検査において有意なスコアの伸びが認められた。つまり、トレーニング効果は、近似領域 (ワーキングメモリ) (near transfer) と (状況の把握や類推を伴う) 応用領域 (スペリング) (far transfer) の双方の領域に転移したことが示された。ワーキングメモリ、言語性 IQ、スペリングに関しては、8ヶ月後の追跡調査でも効果の維持が確認されている。IQ に関しては、WMT-High 群のみ言語・非言語性の双方の検査を受けたため、汎化性の解釈には注意が必要である。しかしながら、先行研究で報告されていた6ヶ月間を上回る持続効果が観測されている点、そして、定期的なトレーニングが教室学習の効率性 (学びの広がり、新しい知識体系の形成など) の向上に果たす役割についての考察が深められている点において、学術的・教育的に有意な研究成果であると言える。

日本においても WMT の普及率は増加傾向にある (コグメド・ジャパン, 2014)。Alloway らの知見に基づき WMT を実施した藤本 (2013) は、被験者をカード教材群 (17名) と PC 教材群 (16名) に分け、それぞれ4週間のトレーニングを進めた。カード教材は「ジャンケンメモリ」と呼ばれる「n-back 課題」に準拠した構成になっている。被験者は、「グー」「チョキ」「パー」の絵が記載されたカードを順にめくり、直前のカードに対しての勝ち・負け・あいこの判断を声に出して答え (1-back)、3枚目のカードで

は2つ前のカードに対する判断を口頭で行う(2-back)。刺激はほかに3セット用意され、「娘」「おじさん」「虫」の3要素から成るセットでは、「娘>おじさん>虫>娘」というルールが提示され、それに基づいた勝ち負けの判断を行うことが課された。PC教材では、図形マトリクス課題が設定され、第1～3画面でマウスをクリックするたびに提示される図形の関連性(例:●→○→■→?)に着目し、行と列の規則性を理解し最終画面(第4画面)の図形に提示される「?」にあてはまる図形を第5画面に現れる選択肢(例:△□■●)の中から選ぶという内容になっている。事前・事後テストにはRSTと数唱(逆唱)が使用された。事前・事後テストの比較分析(*t*検定)の結果、カード教材群ではRSTの3文、4文セット、逆唱5桁の条件下での正答率が向上していたのに対し、PC教材群では、RSTの3文セットの条件下のみで有意な評価値の向上が見られた。

藤本(2013)自身も何点か指摘しているが、実施方法に関する問題点が挙げられるため、上記の結果をトレーニング効果と解釈するには注意が必要である。まず1つ目に、同研究には統制群が存在しないため、観測された効果の妥当性が保証されていない。次に、本来個別検査であるRSTが集団検査として実施されたことにより、ワーキングメモリ容量の個人差が十分に測定できていなかった可能性がある。また、トレーニング平均日数が8日と短く、なかにはトレーニング日数がゼロや数日みの被験者がいたことからトレーニング受講形態にばらつきがあったと推測できる。したがって、テストの正答率向上に「慣れ」や「練習効果」の問題が関与している可能性が否めない。更に、トレーニングは、各回の取り組み(成績)に応じて次回の内容や難易度が調整される調整型(adaptive)と一定の内容に沿う無調整型(non-adaptive)に分けられるが、同研究のプログラムは後者であったため、「飽き」や「天井効果」の影響が働いたとも考えられる。

## 2.5. 現状の課題

上記の先行研究の概観から、主に2つの課題が指摘できる。第一に、欧米を中心に児童への学習支援の一環や研究の目的で実施された研究においてWMTの効果は報告されているが、より年長の学習者、特に成人学習者における効果についてはエビデンスが十分に蓄積されていないと言える。成人EFL学習者を対象とする背景には、今日、高等教育の現場において、多様化・複雑化を増すグローバル社会に果敢に対応できる人材の輩出を目指した英語教育の実践が進められている現状が挙げられる。多様な取組が報告されるなかで、指導方法や教材の実践のみでは説明しがたい言語知識の発達における個人差が存在するという課題も残されている(林・小野, 2013, 2014)。本稿では、そのような英語教育の課題に認知心理学の観点から考察を深めることを目指す。第二に、先行研究では算数やIQなど他の認知能力へのWMT効果の広がりや報告されているが、言語能力の発達に及ぼす効果については一致した見解が得られていない。L1及びFL知識・スキルを支える重要な認知機能としてのワーキングメモリの役割を支持する報告は多く見受けられるが、それらの多くは一時点で測定された被験者のワーキングメモリと語学力の静的な関係性を示唆するものでしかない。したがって、発展課題として、トレーニング前後においてワーキングメモリと語学力(L1・FL)を測定することにより、ワーキングメモリと言語知識の関連性のより動的な側面についての検証を行う必要がある。本稿では、当課題に取り組むべく、世界的に普及率が高くエビデンスに裏付けされたCogmedを用いてWMTを実施し、その結果を以下に報告する。

### 3. 実験方法

#### 3.1. 目的

上記の現状課題を踏まえ、筆者らは大学生を対象に5週間のWMTを実施し、トレーニング効果及びその持続性・汎化性を検証した。本研究は縦断的な介入（実験）研究であり、1～2年スパンで追跡調査を行う。本稿執筆の時点では、遅延テスト（トレーニング終了から3ヶ月経過）が終了した段階であったため、同時点における持続性・汎化性の報告を行い、考察を深める。具体的な研究課題は以下の通りである。

1. 大学生のワーキングメモリはトレーニングによって改善するか。
2. 改善が見られた場合、その効果に持続性は見られるか。
3. WMTは言語能力と他の認知能力にどのような影響を及ぼすか。

#### 3.2. 被験者

本研究は第二・三筆者が所属する大学の全学部（商・経済・スポーツ科学・法・人文・薬・医・理・工）の1～4年次生を対象に実施した。母集団（EFL環境に置かれる大学生）の代表的なサンプルに近づくよう、全学部・全学年を対象とした。WMT群36名（男子24名、女子12名）、統制群25名（男子10名、女子15名）から成る合計61名の被験者が参加した。WMT群・統制群の平均年齢はそれぞれ20.2（SD = 1.25）、20.6（SD = 1.68）であった。WMT群の学生は、週5日×5週間のWMTに取り組み、事前・事後・遅延テスト（3ヶ月後）を受けた。統制群は事前・事後・遅延テストのみに参加した。被験者の中にWMTや類似したその他の「脳トレ」の受講経験をもつ学生は1人もいなかった。被験者には事前・事後・遅延テストの各回で謝礼品（図書カード）が渡された。

#### 3.3. Cogmed Working Memory Training

Cogmedはスウェーデンカロリンスカ大学の研究者によって開発された、ワーキングメモリや集中力・注意力改善を目的とするWMTプログラムである。1999年に実施されたKlingbergによる初期研究から今日に至るまで、科学的・臨床的に効果が証明されている。現在は、6大陸31ヵ国において提供されており（日本では2008年に提供開始）、ユーザーは10万人以上に及ぶと推定されている（Cogmed, 2009; コグメド・ジャパン, 2014）。Cogmedはコンピュータ上で行うトレーニングプログラムであり、未就学児から成人にかけ年齢に応じた3バージョン（Cogmed JM [未就学児用]、RM [児童・生徒用]、QM [青年-成人用]）から構成されている。筆者らはPearson US社よりCogmedリサーチライセンス（research licence）を取得し、Cogmed QMが組み込まれたWMTを実施した。

##### 3.3.1. Cogmed QM

Cogmed QMの主な特徴は以下の通りである。

- ・インターネットが接続されたコンピュータ上で行う。
- ・1日30-40分間のトレーニングを週5日行い、5週間続ける。
- ・12種類のエクササイズの中から1日8つのエクササイズを行う（図3参照）。
- ・難度レベルを自動調整する適応アルゴリズムを用いたトレーニングを行う。
- ・ユーザー用アカウント上でトレーニングレポート（結果・進捗状況の把握）が確認できる。
- ・Cogmed Coach（以下、コーチと略称）による定期的なサポートを受ける。



図3に表示されている8つのエクササイズのほか、①ランダムに点灯する円の順番を覚え直後に再生する「ポップアップ」、②立方体のパネルを点灯した順に再生する「立方体」、③常時位置を変えながら点灯する丸・三角・四角など異なる図形を順番通りに再生する「カオス」、④格子状でランダムに点灯する数字とその位置を覚え1から順に再生する「ソート」の4つのエクササイズが含まれる。

### 3.3.2. Cogmed Coach の役割

4.3.1でCogmedのコーチングの機能について触れたが、コーチングは以下の5つのステップに沿って実施された(Cogmed, 2012)。

#### ① 初回インタビュー (Initial interview)

コーチとユーザーが対面し、現状の把握、トレーニングに対する動機・目標、トレーニング環境の確認(静かな場所が確保できるか、インターネットの接続に問題はないかなど)、効果の見通しなどについて話し合う。

#### ② トレーニングの準備 (Start-up session)

ユーザーアカウントのID・パスワードを配付し、ログイン方法やアカウントの設定方法の説明を行い、5週間のトレーニング計画を立てる。事前テストを行う。

#### ③ 5週間トレーニング (End-user training)

コーチは週に1度、ユーザーに電話もしくはE-mailで連絡を取る、個人・グループミーティングを開くなどして、質疑応答・進捗状況の確認・助言・激励などのサポートを提供する。

#### ④ まとめ (Wrap-up session)

コーチとユーザーが対面し、トレーニング全体の報告(ユーザーの感想を含む)、トレーニング効果(エクササイズ別やトレーニングの時期別に分析)や目標達成度の評価などを行う。事後テストを実施する。

#### ⑤ 6ヶ月後フォローアップ (6-month follow-up)

電話もしくはE-mailで連絡を取り、トレーニング後の現状把握を行う。トレーニング効果の持続性検証のためのテストを実施する。



図3 Cogmed QM のトップ画面の例

### 3.4. ワーキングメモリの測定

#### 3.4.1. 英語版 Reading Span Test

中央実行系の容量を測定する代表的な課題である Reading Span Test (RST) を実施した。英語版は Walter (2000) によって開発された RST を使用した。被験者は、コンピュータの画面に呈示される短文を口頭で読み、文章の意味的正誤判断をキーボード上で行う (Y = 正しい、N = 誤り)。それと同時に、文末の単語を憶えることが課される。文末に「\*」が付いた文章が呈示されると、次の画面で、それまでに憶えた単語を呈示された順番通りに口頭で再生することが課される。以下に3文条件の例を示す。

##### English 3 sentences I

Do come and stay for a few weeks.

It's very important to be on time.

The airport was late arriving at the plane.\*

被験者が続けて読む文の数は2文条件から5文条件まで増えるため、憶える単語数も増えテストの難易度が増す。各条件につき試行が5回繰り返され、3試行以上において正確に単語の口頭再生ができた場合、次の条件に進む「打ち切り型」で進めた。Walter の RST では制限時間が設けられず、被験者は自らのペースで刺激文の音読 (self-paced reading) と意味的正誤判断を行い、正誤判断のキー (Y/N) が入力されると次画面が呈示された。しかし、予備調査の段階で20名を対象に RST をセルフペースで実施したところ、単語保持のために音読の速度を大幅に落とす、キーボード上の誤操作で不意に次画面に切り替わるなどの問題が浮上した。そこで、予備調査の被験者全員に通常の速さで刺激文を音読するよう依頼し所要時間を測定した。その結果をもとに、画面間の切り替え時間を10秒と固定した (刺激文呈示約8.5秒 + 次文呈示までの間約1.5秒)。単語の口頭再生にも制限時間を設けた。1語5秒と設定し、2文条件下では10秒、3文条件下では15秒と設定した (苧阪, 2002)。このような実験者指定の条件下 (experiment-administered condition) での RST の実施は、原版の RST (Daneman & Carpenter, 1980) の実施方法と一致するほか、刺激文音読の制限時間がないセルフペースリーディング課題に比べ妥当性が高いという指摘もある (Friedman & Miyake, 2005)。原版の RST ではなく Walter の RST を採用した理由として、後者は情報の処理とそれに伴う一時的な保持の双方を測定する構成になっている点と、先行研究において EFL 環境で使用された例があり、信頼性・妥当性を支持するエビデンスが蓄積されている点の2つが挙げられる (Walter, 2000, 2004)。Cronbach Alpha の信頼性係数は  $\alpha = 0.92$  (事前)、 $\alpha = .93$  (事後)、 $\alpha = .82$  (遅延) であり、一貫して高い内的整合性が認められた。

#### 3.4.2. 日本語版 Reading Span Test

日本語版 RST は苧阪 (2002) の RST を使用した。本テストは原版 RST (Daneman & Carpenter, 1980) に基づいて開発されたテストであり、成人学習者を対象とした先行研究において幅広く使用されている (苧阪・苧阪, 1994; 苧阪, 1998; 山口・清水, 2010)。日本語版 RST では、原版 RST と異なり、文末の単語ではなく下線語を憶えることが課される。以下に3文セットの例を示す。

##### 日本語3文セット

1番下の目が、まぶしそうに弟を動かしながら尋ねた。

さまざまな工夫をこらして、西洋の言葉を学ぼうとした。

昼は、人々の信頼に答えようと、彼も夜も働いた。\*

被験者は刺激文を口頭で読みながら単語を憶え、下線語を試行と試行の間の再生時間内に口頭で再生することが課される。しかし、この測定方法では、Walter が指摘するように (2.3項参照)、情報 (単語) 保持は測定されるが処理は測定されていないという問題点が残る。英語版 RST と日本語版 RST の結果を相互に比較ができるよう、テスト構成の統一が保証されなければならない。したがって、Walter の RST と同様に、日本語版 RST に意味的正誤判断の課題を加え、原文の半分を正文、残りの半分を誤文へと修正した。Walter の RST では、設定されている意味的正誤判断課題の妥当性を保証するため、刺激文には文法的に正しい文章が使用されている (例: The airport was late arriving at the plane)。和文の統語情報は接続詞、助詞などの機能語によって示されるのに対し、意味的情報は名詞・動詞など語彙的意味を担う内容語によって示される (Iwasaki, 2002)。したがって、ターゲット語 (下線語) は変更せず、原文の内容語の位置を置き換えることで誤文を作成した (例: 「彼は、人々の信頼に答えようと、昼も夜も働いた。」→「昼は、人々の信頼に答えようと、彼も夜も働いた。」。修正した刺激文は予備調査実施前に3名の成人学習者に正誤判断を依頼し (評価者間一致率99%)、予備調査参加者20名にも実施した。英語版 RST に比べて低い評価値ではあるが、閾値 ( $\alpha = .70$ ) (Field, 2009) を上回る Cronbach  $\alpha$  係数が一貫して得られた (事前:  $\alpha = .76$ 、事後:  $\alpha = .80$ 、遅延:  $\alpha = .74$ )。

英語版・日本語版 RST は実験用ソフト DMDX (version 4.3.0.1) を使用して作成し、パソコン画面 (OS: Windows 7) に刺激文を呈示した。Walter の RST と同様にバイリンガル版として作成し、「日本語 2 文セット→英語 2 文セット→英語 3 文セット→日本語 3 文セット→日本語 4 文セット→英語 4 文セット→英語 5 文セット→日本語 5 文セット (バージョン A)」というように各言語の刺激文セット (5 試行/セット) が交互に呈示された。言語の呈示順序の効果を取り除くため、英語 2 文セットから開始するバージョン B (英語 2 文→日本語 2 文→日本語 3 文→英語 3 文…英語 5 文) も設け、被験者の半数はバージョン A を、もう半分はバージョン B を受けた。英語版 RST 用の刺激文は、Microsoft Office Excel VBA の Rnd (ランダム) 関数を用いて、Walter (2000) が作成した100の文章の中から正しい (logical) 文章と誤りのある (illogical) 文章を35文ずつランダムに選定し、原版のほかに2バージョンの RST を作成した (Walter の選定方法に準拠する)。日本語版 RST は、原版の刺激文70題は各条件下で限定的に使用されていたため、各条件下で Rnd 関数を用いて刺激文 (原文70題+修正文70題) をシャッフルさせ、新たに2バージョンを作成した。被験者の意味的正誤判断の回答と単語の口頭再生はパソコンにそれぞれ記録・録音された。キーボードの操作ミスによる反応の誤記録を防ぐため、実験者は記録用紙を用い、筆記での記録も行った。3文セット以降の条件下で、再生単語の順番のみ異なっていた (呈示順でない) 場合、実験者が「順番はそれでいいですか」と問いかけ修正を促した。各試行は space キーを押して始まる設定にし、被験者が試行間に一呼吸置き披露を緩和ができるよう配慮した。

Daneman & Carpenter (1980) 及び Walter (2000) の採点方法に準拠し、3試行以上正しく再生できた (=クリアした) 条件が評価値に反映される。クリアした次の条件で2試行正しく再生できた場合、0.5が加点される。例えば、日本語 4 文セットはクリアしたが5文セットでは1試行しか再生できなかったという場合は評価値4.0が、5文セットで2試行をクリアした場合は評価値4.5が与えられる。

### 3.4.3. 数唱 (Digit Span)

言語性短期記憶の代表的検査である、数唱 (順唱・逆唱) を実施した。本テストは日本高次脳機能障害学会によって開発された標準注意検査法 (Clinical Assessment for Attention: CAT) と標準意欲評価法

(Clinical Assessment for Spontaneity : CAS) に含まれるサブテストの1つである。CAT・CASは、注意障害や意欲、自発性の低下を臨床的かつ定量的に検出・評価することを目的に開発されたテストである(加藤, 2006)。標準化の過程において、10歳代から80歳代までの加齢変化や脳損傷例データに加え健常例データの解析結果においても高い妥当性ないし有用性が示されている点を踏まえ、本研究で使用する検査として選定した。数唱は日本語と英語で実施し、CATの数唱課題を日本語版課題と設定した。日本語版課題の刺激を逆に配置したものを英語課題とし、順唱では日本語版の逆唱数系列、逆唱では日本語版の順唱数系列を英語で聴覚し、直ちに英語で繰り返すことが課された。

被験者は、1個1秒の速さで読み上げられる数系列を聴き、順唱課題ではその直後に同じ順番で復唱し、逆唱課題では逆さの順番で復唱することが求められた。数系列は2桁から始まり最長9桁に及び、同一桁を2回連続で誤った場合は中止となる。実施方法(呈示速度)の統一性を保つため、数系列は事前に録音したものを再生した。

#### 3.4.4. 視覚性スパン (Tapping Span)

CATのサブテストである視覚性スパンを視空間性短期記憶を測定する課題として実施した。被験者は、Corsiのブロック課題(Milner, 1971)の配置に準拠する検査図版に描かれた9個の正方形が順に指し示される動画を見て、直ちに同じ順序で指さすforward課題と、逆の順序で指さすbackward課題から成る。図形を指し示す速度(1秒に1個)が被験者間で統一されるよう、実験者が指し示す様子が録画された動画を用いて刺激呈示を行った。実験者用に各図形に番号が振ってあり、数唱と同じ配列の数字を2桁から最長9桁まで指し示し、被験者が2試行連続で誤答した時点で検査は中止となる。

### 3.5. 知的能力の測定

流動性知能を測定するレーヴン漸進的マトリックス検査(Raven's Standard Progressive Matrices Plus (SPM+)(Raven, Rust & Squire, 2008)を実施した。SPM+は、標準図案や図柄の欠如部分に合致するものを6つないし8つの選択肢から1つ選ぶことが求められる非言語知能検査である。個別検査・集団検査のどちらの形態でも実施でき、文化や環境の影響を受けない検査としてL1学習者からバイリンガルやL2/FL学習者まで、幅広く実施されている(Hayashi & Murphy, 2013; Jean & Geva, 2009)。SPM+は、10分、20分というように制限時間を設定した場合でも高い信頼性・妥当性を示す検査であると見なされている(Hayashi & Murphy, 2013; Rushton, Čvorović & Bons, 2007)。テスト実施スケジュールの都合も考慮し、制限時間を20分と設定し、被験者には合計60問の問題を時間内で解けるところまで解くよう指示を出した。

### 3.6. 言語能力の測定

#### 3.6.1. 日本語能力

被験者の日本語能力を総合的に測定するため、日本語能力基礎検査(Japanese Language Proficiency Assessment: JLPA)(言語教育文化研究所, 2007)を実施した。JLPAは、「漢字」、「語彙」、「敬語」、「表記・表現」「文法」「読解問題」の下位項目から構成されている。標準化された言語運用テストである点と、実施時間60分であるため大学の授業時間内に実施できるという実用性の面から、JLPAを選定した。

### 3.6.2. 英語能力

英語能力の測定は、英語プレACEMENTテスト (English Placement Test : EPT) (英語運用能力評価協会, 2003) を使用し測定した。本テストは、Part 1 (リスニング)、Part 2 (語彙・文法、リーディング) から構成されており、総合的な英語力測定のほか、目的別のグループ分けを行うことにも適したテストである。他大学で大規模に使用された例があり信頼性・妥当性の高いデータが報告されている点と、大学の授業時間内に実施できる点から (所要時間60分)、本テストを選定した。

### 3.7. 手続き

正課外の時間に大学の教室にて事前テストを実施した。事前に本研究の趣旨を話し、署名された同意書を返却した被験者のみ事前テストに進んだ。集団検査2回と個人検査1回の3回に分けて実施し、言語能力 (JLPA・EPT) と非言語テスト (SPM+) は集団で実施し、RST と CAT は個別に実施した。日本語と英語の両方で実施するテスト (言語能力テスト、RST、CAT) については、順序効果を防ぐため、被験者の半数は英語版を先に受け、もう半数は日本語版を先に受けるというようにカウンターバランスを行った。各々のテストの冒頭で練習問題を数問実施し、被験者がテストの進め方について十分に理解できたことが確認できた時点でテストを開始した。事前テスト終了後、WMT 群はコーチとの初回インタビューを行いトレーニングの準備を進め (3.3.2参照)、5週間の WMT を開始した。36名の被験者がトレーニングを開始したが、「学業との両立が難しい」「時間が取れない」などの理由から15名辞退したため、最終的には21名が5週間のプログラムを終了し、事後テストを受けた。統制群からも事前テスト後に辞退者が7名出たため、18名が事後テストを実施した。WMT 効果の持続性を検証するため、事後テストから3ヶ月後に遅延テストを実施した。事後テスト参加者の中から4名辞退者が出たため、WMT 群18名、統制群15名の合計33名が遅延テストを受けた。先行研究の実施方法 (e.g., Brehmer, Westerberg & Bäckman, 2012; Roughan & Hadwin, 2011) に準拠し、遅延テストを3ヶ月後に実施した。そのほか、3ヶ月後は学年末に該当するため、年度をまたぐことによるカリキュラム要因や発達要因など交絡要因の影響も考慮し3ヶ月後に設定した。実際に、ワーキングメモリの安定性を支持する見解がある一方、年齢などの発達要因の影響を受けるとの見解も示されている (Alloway, Gathercole & Pickering, 2006; Gathercole, Pickering, Ambridge & Wearing, 2004)。

## 4. 結果

### 4.1. 事前テストの結果

事前・事後・遅延テストの際に実施した言語能力テスト・IQ テストの平均値 (M)・標準偏差 (SD) を表1、表2に、ワーキングメモリ検査の平均値と標準偏差を表3、表4に示す。RST に関しては、スパン値のみでは個人差が十分に反映されないと指摘されている。例えば、スパン値3.0を収めた被験者が数人いた場合、3.5に近い被験者 (例: 4文セット目で2試行クリアに近いレベル) なのか、2.5に近い被験者 (例: 3文セットで3試行のみクリアし、4文セットでのクリア試行数ゼロ) なのかなどの情報が排除されてしまう (Friedman & Miyake, 2005)。解決策として、(正解とカウントされた) 再生単語数も報告することが薦められており、実際に、スパン値に比べ再生単語数の方が信頼性が高いとの報告も見られる (Friedman & Miyake, 2000, 2005)。したがって、本稿では、RST については、スパン値、反応時間、意味正誤判断の正答率、再生単語数の4つのサブスコアを報告する。標本分布の性質を調べるため、尖度値・歪度値を標準スコア ( $z$  スコア) に換算したところ (Field, 2009)、言語能力テスト (日本語・英語)

と SPM+の結果では、閾値である1.96 ( $p < .05$ ) 以下の数値が観測され、正規分布からの逸脱は示されなかった。また、Shapiro-Wilk 検定においても、表1の全項目において正規分布から逸脱しない分布が観測された ( $p > .05$ )。したがって、表1、表2の項目はパラメトリック検定を用いて解析を行った。一方で、リーディングスパンとCATについては、Shapiro-Wilk 検定において逸脱を示す結果が得られたため ( $p < .05$ )、ノンパラメトリック検定を用いて行った。独立したサンプルの  $t$  検定 (表1・2) とノンパラメトリック検定 (表3・4) を行った結果、全項目においてトレーニング開始段階ではグループ間に有意差は存在しないことが示された ( $p > .05$ )。

表1 知能検査と言語能力テストの結果 (WMT 群)

テスト	WMT 群				(n = 21 <sup>a</sup> / n = 18 <sup>b</sup> )			
	事前 (A)		事後 (B)		B-A <sup>a</sup>	遅延 (C)		C-A <sup>b</sup>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
SPM+(60)	38.52	4.59	40.76	6.55	.01	41.5	6.27	.000
JLPA(106)	78.1	12.39	74	11.64	.003		NA	
EPT(300)	206.24	36.88	202	31.14	.49			

※ *M*: Mean, *SD*: Standard Deviation, ( )内の数字はそれぞれのテストの満点を指す。

表2 知能検査と言語能力テストの結果 (統制群)

テスト	統制群				(n = 18 <sup>c</sup> / n = 15 <sup>d</sup> )			
	事前 (A)		事後 (B)		B-A <sup>c</sup>	遅延 (C)		C-A <sup>d</sup>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
SPM+(60)	37	3.14	38.61	3.36	.08	39.73	3.55	.22
JLPA(106)	80.17	8.33	72.94	10.15	.000		NA	
EPT(300)	214.67	27.77	211.6	39.28	.61			

## 4.2. 事後テストの結果

### 4.2.1. 知能検査と言語能力テスト

対応のあるサンプルの  $t$  検定を実施しグループ内のスコア比較を行った結果、WMT 群は SPM+スコアの伸びが観測されたのに対し ( $t(20) = 3.04, p = .01, d = 0.47$ )、統制群では有意差は認められなかった ( $p > .05$ )。英語能力 (EPT) はどちらのグループにおいても有意な変化は見られなかった ( $p > .05$ )。一方で、両グループ共に日本語能力 (JLPA) のスコアが低下し、その差は有意水準に達した (WMT 群:  $t(20) = 3.39, p = .003, d = 0.52$ , 統制群:  $t(17) = 5.08, p < .001, d = 0.89$ )。独立したサンプルの  $t$  検定を用いグループ間の比較を行った結果、知的能力、日本語・英語能力テストのいずれにおいても、スコアの有意差は認められなかった。

### 4.2.2. ワーキングメモリ検査

ウィルコクソンの符号順位検定 (the Wilcoxon signed rank test) を用いて、グループ別に、事前・事後テストにおける RST と CAT のサブスコアの比較を行った。WMT 群に関しては、RST のサブスコア

表3 ワーキングメモリ検査の結果 (WMT 群)

検査	WM training				(n = 21 <sup>a</sup> / n = 18 <sup>b</sup> )			
	事前 (A)		事後 (B)		B-A <sup>a</sup>	遅延 (C)		C-A <sup>b</sup>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
【日本語 RST】 スパン値(5)	2.19	1.23	2.43	1.14	.48	2.75	0.6	.04
反応時間(10秒)	6.79	0.99	6.29	0.69	.25	6.05	0.81	.07
再生数(70)	21.47	15.85	24.1	14.9	.17	27.28	0.94	.04
意味的正誤判断(70)	26.24	16.49	28.19	15.33	.44	33.39	12.22	.08
【英語 RST】 スパン値(5)	2.12	1.02	2.43	1.06	.15	2.75	0.94	.01
反応時間(10秒)	7.33	0.76	6.64	1.09	.18	6.45	1.01	.07
再生数(70)	21.33	13.94	23.52	14.77	.19	29.06	16.17	.01
意味的正誤判断(70)	20.14	12.95	23.33	14.62	.07	29.5	15.71	.002
【CAT】 日本語順唱(9.0)	7.1	1.3	8	1	.000	7.94	1.11	.01
日本語逆唱(9.0)	5.86	1.59	6.81	1.54	.01	6.78	1.48	.03
英語順唱(9.0)	5.24	0.89	6.19	0.93	.000	5.94	0.9	.004
英語逆唱(9.0)	4.43	0.98	5.05	1.24	.04	5	1.22	.02
視覚性スパン(F)(9.0)	5.67	1.56	7.33	1.53	.000	7.22	1.48	.004
視覚性スパン(B)(9.0)	5.43	1.63	6.9	1.58	.001	7.22	1.56	.000

※( )内の数字は各検査の満点を指す。F: Forward, B: Backward.

表4 ワーキングメモリ検査の結果 (統制群)

検査	統制群				(n = 18 <sup>c</sup> / n = 15 <sup>d</sup> )			
	事前 (A)		事後 (B)		B-A <sup>c</sup>	遅延 (C)		C-A <sup>d</sup>
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>p</i>
【日本語 RST】 スパン値(5)	2.36	0.64	2.72	1.22	.20	2.63	1.04	.17
反応時間(10秒)	6.38	0.99	6.1	0.92	.47	5.83	0.62	.13
再生数(70)	21.61	8.3	28.22	17.65	.53	26.93	13.79	.19
意味的正誤判断(70)	26.78	10.03	33	17.69	.57	33.87	14.51	.09
【英語 RST】 スパン値(5)	2.36	0.78	2.31	1.23	.86	2.6	1.1	.18
反応時間(10秒)	7.06	1.27	6.60	1.06	.18	6.24	1.25	.07
再生数(70)	22.5	12.2	25.28	13.89	.34	26.07	14.42	.53
意味的正誤判断(70)	23.06	10.61	26.33	14.91	.34	28.47	14.7	.17
【CAT】 日本語順唱(9.0)	6.68	1.14	7.37	1.16	.02	7.47	1.13	.03
日本語逆唱(9.0)	5.37	1.3	5.95	1.58	.03	5.53	1.41	.58
英語順唱(9.0)	5.53	0.9	5.26	0.93	.26	5.67	0.72	.13
英語逆唱(9.0)	4.21	0.79	4.53	1.02	.19	4.73	1.22	.20
視覚性スパン(F)(9.0)	5.84	1.64	6.32	1.38	.04	6.53	1.41	.08
視覚性スパン(B)(9.0)	5.63	1.12	6.37	1.42	.06	6.6	1.24	.002

はどれも有意差が見られなかったのに対し ( $p > .05$ )、CAT のサブスコアはすべて有意差が認められ、事後テストで増加していることがわかった (日本語順唱:  $z = -3.34, p < .001, r = .51$ , 日本語逆唱:  $z = -2.54, p = .01, r = .31$ , 英語順唱:  $z = -3.41, p < .001, r = .53$ , 英語逆唱:  $z = -2.04, p = .04, r = .31$ , 視覚性スパン forward:  $z = -3.34, p < .001, r = .52$ , 視覚性スパン backward:  $z = -3.21, p = .001, r = .50$ )。統制群については、WMT 群同様に RST のサブスコアには変化は見られなかったが ( $p > .05$ )、日本語順唱 ( $z = -2.3, p = .02, r = .38$ )、日本語逆唱 ( $z = -2.05, p = .03, r = .34$ )、視覚性スパン forward ( $z = -2.21, p = .04, r = .37$ ) のスコアに有意差が見られ、事後テストにおいてスコアが伸びていることが示された。更に、視覚性スパン backward のスコアにおいて有意水準に近づく差が見られた ( $p = .06$ )。

次に、マン・ホイットニー U 検定 (the Mann-Whitney test) を用いて事後テストのスコアをグループ間で比較した結果、英語順唱 ( $U = 101, z = -2.82, p = .005, r = .46$ ) と視覚性スパン forward ( $U = 124.50, z = -2.08, p = .04, r = .34$ ) において有意差が見られ、WMT 群の方が統制群に比べ高いスコアを収めていることが示された。

### 4.3. 遅延テストの結果

#### 4.3.1. 知能検査

対応のあるサンプルの  $t$  検定を実施し SPM+ のスコア比較を行った結果、WMT 群では、事前テストから遅延テストにかけて有意なスコアの伸びが示されたのに対し ( $t(17) = 4.35, p < .001, d = .73$ )、統制群ではスコアの有意差は観測されなかった ( $p > .05$ )。独立したサンプルの  $t$  検定を実施した結果、グループ間では 2 時点のスコアに有意差は見られないことが示された ( $p > .05$ )。言語能力テスト (JLPA & EPT) に関しては、事後テストの結果分析の際に EPT ではスコアの有意差が見られなかった点と、両群とも JLPT のスコアが下がりテストの難易度の不均一性が示唆された点を踏まえ、遅延テストでは実施しないという決断を下した。

#### 4.3.2. ワーキングメモリ検査

ウィルコクソンの符号順位検定を用いて各グループの事前テストと遅延テストのスコア比較を行った。WMT 群については、CAT の全サブスコアにおいて有意差が認められ、事後テストで観測されたトレーニング効果が維持されている傾向が示された (日本語順唱:  $z = -2.44, p = .01, r = .4$ , 日本語逆唱:  $z = -2.15, p = .03, r = .36$ , 英語順唱:  $z = -2.74, p = .004, r = .46$ , 英語逆唱:  $z = -2.39, p = .02, r = .4$ , 視覚性スパン forward:  $z = -2.78, p = .004, r = .46$ , 視覚性スパン backward:  $z = -3.31, p < .001, r = .55$ )。さらに、RST では、反応時間と日本語 RST の意味正誤判断を除いた全てのサブスコアにおいて有意差が認められた (日本語スパン値:  $z = -2.0, p = .04, r = .33$ , 英語スパン値:  $z = -2.51, p = .01, r = .42$ , 日本語再生数:  $z = -2.03, p = .04, r = .34$ , 英語再生数:  $z = -2.92, p = .01, r = .45$ , 英語意味正誤判断:  $z = -2.92, p = .002, r = .49$ )。一方で、統制群では、CAT の日本語順唱 ( $z = -2.35, p = .03, r = .43$ ) と視覚性スパン backward ( $z = -2.88, p = .002, r = .53$ ) のスコアの有意な伸びが観測された。事前-事後テストの比較の際に観測された視覚性スパン forward のスコアの有意差は遅延テストでは有意水準に達しなかった。WMT 群とは対照的に、RST のサブスコアの有意差は見られなかった。

グループ間で遅延テストのスコアを比較したところ、WMT 群の日本語逆唱のスコアは統制群のスコアより有意に高いことが示された ( $U = 101, z = -2.82, p = .005, r = .46$ )。それ以外のサブスコアに関してはグループ間の有意差は認められなかった。しかし、同結果の解釈には注意が払わなければならない。なぜなら、事後テストの結果では WMT 群・統制群の両群とも日本語逆唱のスコアが有意に伸びていたため



である。すなわち練習効果が双方のグループに働いた可能性が否めないということである。そこで、事後テスト以降の辞退者を除いたデータを用い、3回のテストを全て受けた WMT 群18名と統制群15名の事前-事後テストのスコア比較を行った。ウィルコクソンの符号順位検定を行った結果、事後テスト時の WMT 群の日本語逆唱のスコアは事前テストに比べ有意に伸びているのに対し ( $z = -2.95, p = .002, r = .49$ )、統制群の事後-事前テストの差は有意水準に達しなかった。したがって、事前-遅延テストの比較の対象となった WMT 群18名については、日本語逆唱課題においてトレーニング効果が維持されていたことが示唆される。

## 5. 考察

本稿は、大学生を対象に Cogmed のプログラムを用いたワーキングメモリトレーニング (WMT) を5週間に亘り実施し、その効果を検証した。具体的には、①トレーニングによってワーキングメモリが改善されるか (トレーニング効果の有無)、②改善された場合、その効果は持続されるか (効果の持続性)、③トレーニング効果は言語能力やトレーニングで体験していない認知タスクにおいて発揮されるか (トレーニング効果の汎化性) の3つの目標を設定し検証を行った。

### 5.1. ワーキングメモリの改善 (near transfer)

WMT 群では、事後テストの時点で、CAT で測定された言語性・視空間性ワーキングメモリ及び短期記憶 (CAT の全下位検査) における改善が見られた。統制群では、言語性短期記憶 (CAT 日本語順唱)、言語性ワーキングメモリ (CAT 日本語逆唱) と視空間的短期記憶 (CAT 視空間スパン forward) において改善が見られた。グループ間の比較では、英語の言語性短期記憶 (CAT 英語順唱) と視空間的短期記憶 (CAT 視覚性スパン forward) において、WMT 群の方が統制群よりスコアが高いことが示された。事後テストの時点では、両群ともに中央実行系の機能の指標となる RST の評価値に有意差は見られなかった。

CAT の下位検査である数唱と視覚性スパンは Cogmed の「数唱」や「格子」と性質が類似している。一方で、呈示様式 (Cogmed : コンピュータ画面 vs CAT : 紙媒体・聴覚) や反応様式 (Cogmed : PC マウスでクリック vs CAT : 口頭・指さし) において異なることから、未経験のタスク (nontrained tasks) としての要素も含んでいる (Ralph, 2012)。したがって、児童を対象とした先行研究でも報告されているが (Holmes et al., 2009)、大学生においても近似領域におけるトレーニング効果 (near transfer) が示されたと解釈できる。また、WMT 群にはワーキングメモリと短期記憶の双方の改善が広範囲に亘り (言語性と視空間性) 見られたのに対し、統制群では主に短期記憶の改善に限定された。事前テストと事後テストでは同じ検査を用いたことから、統制群の伸びに関しては練習効果の可能性が否めない。しかし、ほかの下位検査では同様な効果は示されていないことから、WMT 群の言語性短期記憶・ワーキングメモリ (共に英語)、視覚性スパン backward における改善はトレーニング効果と解釈できる。

本稿で使用した Cogmed WMT プログラムは Pearson US より発行されたライセンスを用いて実施したが、被験者は US English ではなく日本語をトレーニング言語として設定しトレーニングを進めた。すなわち、日本語で進めたトレーニングが日本語のみならず英語における短期記憶・ワーキングメモリ容量にも有益な効果を与えたと解釈できる。Osaka & Osaka (1992) は、第一言語 (L1) におけるワーキングメモリ評価値が高い EFL 学習者は外国語 (FL) におけるワーキングメモリの評価値も高いという結果を踏まえ、ワーキングメモリ容量の効率性は言語構造に依存しないという見解を示している。Takeuchi et al.

(2012)の研究では、L1に比べFLの文章読解の際にワーキングメモリはより高いレベルで活性化されることが報告された。CATには読みを伴う検査は含まれていないため、先述の先行研究の知見に直接関連付けることはできないが、英語の短期記憶・ワーキングメモリの伸びは、より高い活性化レベルを要する英語(FL)での情報の処理・保持が日本語(L1)で強化されたワーキングメモリによって支えられたと解釈できるのではないだろうか。

一方で、事後テストの時点では、RSTにおいては両群ともにスコアの伸びは見られなかった。RSTは、読みの過程での処理と保持のトレードオフの関係を想定して開発された、中央実行系のワーキングメモリ容量を測定する代表的な課題である(Daneman & Carpenter, 1980)。先行研究において、RSTで測定されたワーキングメモリの個人差は、文章読解(Walter, 2004)や読み書き能力(Alloway & Alloway, 2010)、習熟度(Harrington & Sawyer, 1992; Nakanishi & Yokokawa, 2011)、スピーキング力(Mota, 2003)、リスニング能力(Sakuma, 2011)など、様々な言語課題の成績の個人差と関連性があることが示されている。Cogmedには言語性短期記憶・ワーキングメモリを強化するエクササイズ(数唱、数字)は含まれているが、読みを伴うエクササイズは含まれていないため、言語課題を支えるワーキングメモリの強化にまでトレーニング効果が広がらなかったと考えられる。実際に、WMTを単独で実施した場合の効果の限度を指摘する研究者もいる。近年発表されたWMTに関する先行研究のメタ分析では、近似領域においてのみ信頼性の高いWMTの効果が表れると報告されている(Melby-Lervåg & Hulme, 2013)。さらに、WMTと併せて「課題を設定する」、「学習を自ら評価する」などのメタ認知方略(Oxford, 1990)の活用を取り入れた介入を実施することによりWMTの教育的効果が高まりやすいとの見解が示されている(Klingberg, 2010)。したがって、WMTに加え、言語的な介入(外国語指導)を実施した場合に、双方のアプローチから起こる相乗効果によって言語課題を支えるワーキングメモリ強化へとトレーニング効果が及ぶ可能性が示唆される。これらの見解を踏まえ、筆者らは、言語的介入とWMTの双方を進める被験者グループを設けた実験も行い、現在データ解析を進めている。

## 5.2. トレーニング効果の持続性

遅延テストの結果からCATで測定されたワーキングメモリ容量の改善は概ね維持されていたことが示された。具体的には、言語性ワーキングメモリ(日本語逆唱)、言語性短期記憶(英語順唱)・ワーキングメモリ(英語逆唱)、視空間性短期記憶(視覚性スパン forward)においてスコアの伸びが維持されていた。WMT群は全サブスコアにおいて事前テストからの伸びが維持されていたが、統制群において日本語順唱と視覚性スパン backwardのスコアの伸びが観測されたため、両下位検査の結果は練習効果の影響が排除できない。スコアが改善された下位検査のなかでも特に、日本語逆唱においてはグループ間のスコアに有意差が認められ、WMT群は統制群より高いスコアを達成したことがわかった。つまり、WMTの効果は日本語における言語性ワーキングメモリにおいて顕著に表れていたと解釈できる。逆唱は、短期記憶課題である順唱とは異なり、聴覚した情報(数系列)を保持しながら、同時に逆転させるという並列処理が伴う言語性ワーキングメモリ課題である(國見, 2007)。短期記憶課題に比べ認知的な負担が高いといえるワーキングメモリ課題において持続性のある改善が見られたことは、Cogmed WMTプログラムとしての妥当性、そして本研究の結果の信頼性を支持する結果であると言える。

筆者らが知る限り、CogmedによるWMTを実施した先行研究では最長6ヶ月の持続効果が報告されている。Holmes et al. (2009)の研究では、Cogmed WMTを受けた児童は、AWMA(Alloway, 2007)の下位検査である言語性と視空間性短期記憶・ワーキングメモリ課題において評価値の改善が見られ、その効果は6ヶ月後の追跡調査でも観測された。Holmes et al.の研究では英語をL1とするモノリンガル児童が

対象とされていたが、本研究の結果から、Cogmed を用いた WMT は外国語を学習する成人学習者にも持続効果を発揮することが示された。しかし、本稿では3ヶ月後の効果のみ報告を行ったため、6ヶ月間 (Holmes et al., 2009)、あるいは、Jungle Memory の例に見られた8ヶ月間 (Alloway et al., 2013) といった長期間に亘る持続効果が得られるかについては明確にされていない。当課題については、今後追跡調査を実施し検証を進める予定である。

ここで注目したいのが、WMT 群の RST の下位スコアが、事後テストの時点では有意な変化は見られなかったが、遅延テストの時点で有意な伸びを示していたことである。統制群においては、事後テスト、遅延テストのどちらの時点においても有意なスコアの変化は見られなかった。したがって、WMT 群のスコアの伸びは単なる練習効果に留まらないと考えられる。このような遅延効果の生起要因については、「遅延 JOL (Judgment of Learning : 既学習判断) 効果」という認知心理学の知見から洞察が得られると考える。一般的な学習 (記憶) 活動においてメタ認知的な「モニタリング」と「コントロール」は複雑に相互作用する関係にあり、学習状態のモニタリングに基づいて学習を適切にコントロールすることにより学習の効果が高まると言われている (出口, 2001)。JOL とはこのような課題遂行の際に行われるメタ認知的なモニタリングの一種として位置付けられており、学習中や学習後に実施したテストにおいて、既習事項がどれほど保持されているかを予測することを指す。JOL 評定のタイミングと正確さを検証した先行研究において「遅延 JOL 効果」が認められ、学習からある程度時間を置いた後に JOL を行った方が後の記憶成績 (単語再生課題) に対する予測の正確さが増すと支持されている (Nelson & Dunlosky, 1991 ; 出口, 2001)。遅延効果が見られる原因としてモニタリング・ソースの変化が挙げられており、学習から評定課題までの間隔をあげることで、学習材料の属性への依存度が相対的に低くなり、それ以外の周辺的な情報 (学習したときの状況、記憶痕跡の明瞭さなど) への依存が相対的に高くなると解釈されている (出口, 2001)。

Cogmed の WMT は、言語性・視空間性ワーキングメモリを支える音韻ループや視空間スケッチパッドに加え、中心的な役割を担う中央実行系の強化にも働きかけるプログラムである。制御機構と想定されている中央実行系は、課題達成のための注意の統制 (方向付けや割り付け)、更に、必要な処理資源の確保などの機能を司ることから、JOL の研究で論じられている学習のコントロールやメタ認知的モニタリングにおいても中央実行系の働きが関与していると考えられる。Nelson & Dunlosky (1991) や出口 (2001) の研究では WMT ではなく単語の記憶学習が実施され、保持のみを測定する記憶課題が評定課題として用いられているため本研究との直接比較はできない。しかしながら、本研究の WMT 群で観測された RST スコアにおける遅延効果との関連性は皆無ではないと考える。トレーニングから評価 (遅延テスト) まで間隔が空いたことにより Cogmed のトレーニング材料 (属性) への依存度が低下し、強化された中央実行系の制御機能が発揮されやすくなったのではないだろうか。すなわち、トレーニング効果の「ノイズ」が収まったことにより、二重課題 (RST) の遂行 (「周辺の情報」の処理) に必要な注意のコントロールや資源の確保における効率性が向上したという可能性が示唆される。同遅延効果については、先述した言語的な介入と WMT の相乗効果と併せて、今後の研究で検証すべき課題である。

### 5.3. トレーニング効果の汎化性 (far transfer)

事前-事後テストの言語能力テストのスコアには有意差が見られず、言語能力発達に及ぼすトレーニング効果は確立されなかった。横断的研究や準実験法を用いた先行研究において、ワーキングメモリ容量の評価値と読解力、リスニング力などの言語能力検査の成績は正の相関関係にあることが示されている。とりわけ、中級英語学習者を対象とした Walter (2004) の研究では、WMT の FL 読解力向上における有

益な効果を示唆する結果が報告されている。しかしながら、本研究で実施した集中的な WMT は英語の習熟度向上とは関連付けられていない。これには2つの要因が考えられる。一つ目に、Cogmed WMT の内容が挙げられる。Cogmed には言語性・視空間性の情報処理と保持を課す多様なエクササイズが含まれているが、ゲーム的な要素が強く、言語知識を活用する「教材」としての要素は極めて薄いと言える。それに関連した2つ目の要因として、WMT 効果が言語能力の発達まで及ぶには、WMT に加え言語的な介入が必要であった可能性が考えられる。先述したように (5.1項参照)、Klingberg (2010) の提言に基づき、メタ認知方略の活用を促す言語的な介入 (外国語指導) を実施した場合に、言語課題における有益なトレーニング効果が観測できるのではないだろうか。筆者らが現在進めている、①言語指導群、② WMT 群、③言語指導 + WMT 群、④統制群の4グループを対象とした実験については別稿で報告を行う予定である。

SPM+で測定された流動性知能については、事後テストの時点で見られた WMT 群のスコアの伸びは、3ヶ月後も維持されていることが示された。WMT と知的能力の改善の関係については、研究者の間で一致した見解が得られていない。児童を対象に Cogmed WMT を実施した研究では、トレーニング直後にレーヴン SPM で測定した流動性知能の改善が見られたと報告されている例もあれば (Roughan & Hadwin, 2011)、トレーニングの直後で変化がなかった例も見られる (Holmes, Gathercole, Place, Dunning, Hilton & Elliott, 2010)。N-back 課題を用いた WMT 研究においても見解が割れている。Jaeggi, Buschkuhl, Jonides & Perrig (2008) は、トレーニング期間が異なる全ての WMT 群 (8日間、12日間、17日間、19日間) において流動性知能 (Raven's Advanced Progressive Matrices で測定) の改善が見られ、その効果はトレーニング期間の長さ按比例増加したと報告している。一方で、Jaeggi et al. の繰り返し実施実験を行った Chooi & Thompson (2012) の実験では、8日間と20日間のどちらの WMT においても流動性知能の改善は認められなかった。

このように見解が分かれている一つの原因として、レーヴン漸進的マトリックスシリーズ (SPM, APM, SPM+) の実施方法の不一致が考えられる。Holmes et al. (2010) を除き、先述した全ての研究で SPM もしくは APM が使用されているが、スコアに改善が見られた例では時間制限 (10分) を設けて実施されているのに対し、改善が示されなかった例では時間制限無しで実施されている。レーヴン漸進的マトリックスは、呈示された標準図案や図柄の規則性を導きだし欠如部分に合致するものを類推するという問題解決課題を含む検査である。課題遂行には注意力が求められ、同検査の成績はワーキングメモリの効率性に影響されると言われている (Carpenter, Just & Shell, 1990)。制限時間を設定する場合、被験者は時間内でできる限り多くの問題を解くように指示される。本研究でも同様の条件が設定され、被験者は制限時間20分で60問から成る SPM+を解き進めていくことが課された。このような条件下では、制限時間無しの条件に比べ被験者にかかる認知負担が大きく、より高度な注意力が求められると推測できる (Ullman, 2001)。したがって、WMT で強化された注意力は、時間的制約がかかる条件下においてその効果を発揮しやすいことが示唆される。しかし、本結果は WMT によって IQ が伸びるという解釈にはつながらない。Roughan & Hadwin (2011) も、「トレーニング前後で SPM のスコアが有意に伸びた」という解釈に留め、因果関係には言及していない。レーヴン漸進的マトリックスは非言語性の検査であり、知的能力の一側面を測定しているに過ぎない。WMT と IQ との関係についての理解を深めるには、ウェクスラー式の全検査 IQ (full scale IQ) に見られるような、より総合的な知能検査が実施される必要がある。

#### 5.4. 課題

本研究で実施した量的分析について、標本サイズが小さいため、検定力 (statistical power) が問題視

されるかもしれない。したがって、結果の一般化には注意を要する。次に日本語能力テスト (JLPA) について、WMT 群と統制群の双方において事後テストでスコアが下がるという現象が見られた。標準化された習熟度テストの2つのバージョンを使用したのが、難易度が均一でなかった可能性がある。同テストの妥当性について今後検証を進めていく必要がある。また、本研究で実施した習熟度テストにはスピーキング力を測定する項目が含まれていない。4技能 (スピーキング・リスニング・ライティング・リーディング) を測定することにより、WMT と外国語能力発達の関係についての理解をより深めていくことができると考える。最後に、日本語版 RST について、原版 RST (荻阪, 2002) に処理課題 (意味的正誤判断) を加えた修正版を作成し、Walter (2000) の RST の日本語版として実施した。当修正版の妥当性については、小規模の予備調査 (n = 20) においてのみ確認されたに過ぎないため、今後より大規模な妥当性試験を実施し信頼性・妥当性を高めていくことが課題とされる。

## 6. おわりに

本稿では、大学生を対象に5週間 (週5日) に亘る集中的な WMT を実施し、その効果の持続性と汎化性を検証した。WMT 群と統制群間の差は広範囲には観測されなかったが、WMT 群の言語性ワーキングメモリについては持続性のある改善が見られている。グループ内の分析結果から、トレーニング効果は WMT 群でより顕著に確認され、中央実行系の機能強化や問題解決能力の伸びを示唆する結果が得られたことは有意義であったと言える。次のステップとして、WMT と言語指導の二重アプローチを用いた検証を進め、外国語能力の発達に及ぼす WMT の効果について新たな洞察を加えることが関連する領域の研究発展に向けて重要な課題であると考えられる。

## 謝 辞

本研究は、科学研究費補助金若手研究 (B) (課題番号: 25780535) の助成を受けて行われました。ここに記し感謝の意を申し上げます。英国オックスフォード大学の Catherine Walter 氏には RST 実施についての指導を賜り、同大学大学院博士課程在籍 Najla Malaibari 氏には DMDX の使用方法について助言を頂きました。Pearson US 社には、Cogmed working memory training 実施するにあたり、コーチングやワーキングメモリの測定方法など多岐に亘りサポートを頂き、プログラムを円滑に進めることができました。また、英語運用能力評価協会 (ELPA) より、日本語・英語能力テストの実施にあたりご支援・ご協力を賜りました。田中彰一教授 (佐賀大学)、Victoria A. Murphy 氏 (Oxford University)、Prerna Carroll 氏 (Cambridge Assessment) には、本稿を執筆するにあたり建設的なフィードバックとご指導を賜りました。ここに感謝の意を表します。最後に、本研究に参加してくれた被験者の皆様に深く感謝申し上げます。

## 引用文献

### 1. 欧文

- Alloway, T. P. (2007). *Automated working memory assessment (AWMA)*. London: Pearson Assessment.
- Alloway, T. P. (2012). *Automated Working Memory Assessment-II (AWMA-II)*. London: Pearson Assessment.
- Alloway, T. P., & Alloway, R. G. (2010). Investigating the predictive roles of working memory and IQ in academic attainment. *Journal of Experimental Child Psychology, 106*(1), 20-29.
- Alloway, T. P., Bibile, V., & Lau, G. (2013). Computerized working memory training: Can it lead to gains in cognitive skills in students? *Computers in Human Behavior, 29*(3), 632-638.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. (2006). Verbal and visuospatial Short-Term and working memory in children: Are they separable? *Child Development, 77*(6), 1698-1716.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control processes of short-term memory. *Scientific American, 225*, 82-90.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp.

- 47-89). New York: Academic press.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- Baddeley, A. (2003). Working memory and language: An overview. *Journal of Communication Disorders*, 36(3), 189-208.
- Brehmer, Y., Westerberg, H., & Bäckman, L. (2012). Working-memory training in younger and older adults: Training gains, transfer, and maintenance. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(63), 1-7.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the raven progressive matrices test. *Psychological Review*, 97(3), 404-431.
- Chooi, W., & Thompson, L. A. (2012). Working memory training does not improve intelligence in healthy young adults. *Intelligence*, 40(6), 531-542.
- Cogmed. (2009). *Working memory training: How a scientific discovery is changing the way we understand and overcome the limits of the brain*. Pearson Clinical Assessment. Retrieved 24 May, 2014, from <http://www.cogmed.com/the-cogmed-story> ; .
- Cogmed. (2012). *Cogmed research coaching manual*. Pearson Clinical Assessment.
- Dahlin, K. I. (2011). Effects of working memory training on reading in children with special needs. *Reading and Writing*, 24(4), 479-491.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450-466.
- Field, A. P. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.). London: SAGE publication.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2000). Differential roles for visuospatial and verbal working memory in situation model construction. *Journal of Experimental Psychology: General*, 129(1), 61-83.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2005). Comparison of four scoring methods for the reading span test. *Behavior Research Methods*, 37(4), 581-590.
- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2006). Practitioner review: Short-term and working memory impairments in neurodevelopmental disorders: Diagnosis and remedial support. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 47(1), 4-15.
- Gathercole, S. E., Dunning, D. L., & Holmes, J. (2012). Cogmed training: Let's be realistic about intervention research. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 1(3), 201-203.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The structure of working memory from 4 to 15 years of age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177-190.
- Harrington, M., & Sawyer, M. (1992). L2 working memory capacity and L2 reading skill. *Studies in Second Language Acquisition*, 14(1), 25-38.
- Hayashi, Y., & Murphy, V. A. (2013). On the nature of morphological awareness in Japanese-English bilingual children: A cross-linguistic perspective. *Bilingualism: Language and Cognition*, 16(1), 49-67.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12(4), 9-15.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2010). Poor working memory: Impact and interventions. In J. Holmes (Ed.), *Advances in child development and behavior: Developmental disorders and interventions* (pp. 1-44). New York: Academic Press.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: Impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology*, 24(6), 827-836.
- Iwasaki, S. (2002). *Japanese*. Amsterdam; Philadelphia, PA: John Benjamins Publishing Company.
- Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., & Perrig, W. J. (2008). Improving fluid intelligence with training on working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(19), 6829-6833.
- Jean, M., & Geva, E. (2009). The development of vocabulary in English as a second language children and its role in predicting word recognition ability. *Applied Psycholinguistics*, 30(1), 153-185.
- Klingberg, T. (2010). Training and plasticity of working memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(7), 317-324.
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., et al. (2005). Computerized training of

- working memory in children with ADHD—a randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177-186.
- Klingberg, T., Forsberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781-791.
- Lundqvist, A., Grundström, K., Samuelsson, K., & Rönnerberg, J. (2010). Computerized training of working memory in a group of patients suffering from acquired brain injury. *Brain Injury*, 24(10), 1173-1183.
- McCutchen, D. (1996). A capacity theory of writing: Working memory in composition. *Educational Psychology Review*, 8(3), 299-325.
- Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology*, 49(2), 270-291.
- Milner, B. (1971). Interhemispheric differences in the localization of psychological processes in man. *British Medical Bulletin*, 27(3), 272-277.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (1998). Individual differences in second language proficiency: Working memory as language aptitude. In A. F. Healy, & J. Bourne L.E. (Eds.), *Foreign language learning: Psycholinguistic studies on training and retention* (pp. 339-364). Mahwah, N.J., London: Erlbaum.
- Miyake, A., & Shah, P. (Eds.). (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mota, M. B. (2003). Working memory capacity and fluency, accuracy, complexity, and lexical density in L2 speech production. *Fragmentos: Revista De Língua e Literatura Estrangeiras*, 24, 104.
- Nakanishi, H., & Yokokawa, H. (2011). Determinant processing factors of recall performance in reading span tests: An empirical study of Japanese EFL learners. *The Japan Association for College English Teachers (JACET)*, 53, 93-108.
- Nelson, T. O., & Dunlosky, J. (1991). When people's judgments of learning (JOLs) are extremely accurate at predicting subsequent recall: The "delayed-JOL effect". *Psychological Science*, 2(4), 267-270.
- Osaka, M., & Osaka, N. (1992). Language-independent working memory as measured by Japanese and English reading span tests. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 30(4), 287-289.
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79.
- Oxford, R. L. (1990). *Language learning strategies: What every teacher should know*. New York: Newbury House.
- Ralph, K. J. (2012). *COGMED research claims and evidence version 1.3*. Pearson Clinical Assessment.
- Raven, J., Rust, J., & Squire, A. (2008) *Manual: Standard Progressive Matrices-Plus version and Mill Hill Vocabulary Scale*. London: NCS Pearson Inc.
- Roughan, L., & Hadwin, J. A. (2011). The impact of working memory training in young people with social, emotional and behavioural difficulties. *Learning and Individual Differences*, 21(6), 759-764.
- Rushton, J. P., Čvorović, J., & Bons, T. A. (2007). General mental ability in south Asians: Data from three Roma (gypsy) communities in Serbia. *Intelligence*, 35(1), 1-12.
- Sakuma, Y. (2011). Cognitive features of working memory in elementary school students participating in foreign language activities. *ARELE: Annual Review of English Language Education in Japan*, 22, 233-248.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.
- Swanson, H. L., & Berninger, V. (1995). The role of working memory in skilled and less skilled readers' comprehension. *Intelligence*, 21(1), 83-108.
- Swanson, H. L., Howard, C. B., & Saez, L. (2006). Do different components of working memory underlie different subgroups of reading disabilities? *Journal of Learning Disabilities*, 39(3), 252-269.
- Takeuchi, O., Ikeda, M., & Mizumoto, A. (2012). The cerebral basis for language learner strategies: A near-infrared spectroscopy study. *Reading in a Foreign Language*, 24(2), 136-157.
- Ullman, M. T. (2001). The neural basis of lexicon and grammar in first and second language: The declarative/procedural model. *Bilingualism: Language and Cognition*, 4(2), 105-122.
- Walter, C. (2000). *The involvement of working memory in reading in a foreign language*. Unpublished Ph. D. thesis, University of Cambridge.

- Walter, C. (2004). Transfer of reading comprehension skills to L2 is linked to mental representations of text and to L2 working memory. *Applied Linguistics*, 25(3), 315-339.
- Warrington, E. K., & Shallice, T. (1969). The selective impairment of auditory verbal short-term memory. *Brain: A Journal of Neurology*, 92(4), 885-896.

## 2. 和文

- 英語運用能力評価協会 (ELPA). (2003). 『英語プレイスメントテスト (ACE プレイスメントテスト)』.
- 苅阪満里子. (1998). 「ワーキングメモリと言語理解の脳内メカニズム」『心理学評論』41(2), 174-193.
- 苅阪満里子. (2002). 『脳のメモ帳ワーキングメモリ』新曜社.
- 苅阪満里子・苅阪直行. (1994). 「読みとワーキングメモリ容量—日本語版リーディングスパンテストによる測定」『心理学研究』65, 339-345.
- 加藤元一郎. (2006). 「標準注意検査法 (CAT) と標準意欲評価法 (CAS) の開発とその経過」『高次脳機能研究』26(3), 310-319.
- 國見充展. (2007). 「ワーキングメモリ課題と短期記憶課題遂行能力の加齢変化」『人間社会環境研究』, 13, 203-210.
- 言語教育文化研究所 (ILEC). (2007). 『日本語能力基礎調査』.
- コグメド・ジャパン. (2014). 『ワーキングメモリについて』 URL: <http://www.cogmed-japan.com/> (アクセス日: 平成26年5月20日).
- 国立教育政策研究所. (2012). 『評価基準の作成, 評価方法等の工夫改善のための参考資料 (高等学校 外国語) —新しい学習指導要領を踏まえた生徒一人一人の学習の確実な定着に向けて』.
- 高野陽太郎. (1995). 『認知心理学 2 記憶』東京大学出版会.
- 出口智子. (2001). 「学習-JOL 評定間の遅延の程度が JOL の正確さに及ぼす効果」『名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要. 心理発達科学』48, 123-130.
- 箱田裕司・渡辺めぐみ (2005). 『新ストループ検査II』株式会社トーヨーフィジカル.
- 林裕子・小野博. (2013). 「リメディアル英語教育からグローバル対応英語能力の育成へ」『リメディアル教育研究』8(2), 63-73.
- 林裕子・小野博. (2014). 「グローバル人材育成を目指した短期集中英語学習とその効果」『グローバル人材育成教育研究』, 1(1), 55-65.
- 藤本浩一. (2013). 「ジャンケンメモリを用いたワーキングメモリ訓練教材の効果の検証」『神戸松蔭女子学院大学研究紀要. 人間科学部篇』2, 13-26.
- 山口陽弘・清水真紀. (2010). 「音韻的作動記憶と英語熟達度の関係の検討—日本人大学生を対象として」『群馬大学教育実践研究』, 27, 281-290.