

Title	言語学習における作動記憶の役割：健常者・児を対象とした研究の展望を中心に
Sub Title	Roles of working memory on language learning : review of the studies about normal adults and children
Author	佐々木, 尚(Sasaki, Takashi)
Publisher	慶應義塾大学大学院社会学研究科
Publication year	2004
Jtitle	慶應義塾大学大学院社会学研究科紀要：社会学心理学教育学：人間と社会の探究 (Studies in sociology, psychology and education : inquiries into humans and societies). No.59 (2004.) ,p.13- 27
JaLC DOI	
Abstract	This article examined roles of working memory on language learning. The studies that investigated the important systems of working memory on language learning were viewed: 1) Model of working memory that Alan D. Baddeley proposed was introduced. 2) Experimental studies about relationships between working memory and language learning were reviewed. 3) Correlation studies about working memory and language learning were reviewed. 4) Correlation studies that explored relationships between working memory and school achievement were reviewed. 5) Studies about "paradox of working memory" on language learning were introduced. It was concluded that working memory systems, especially phonological loop and central executive, played important roles on language learning.
Notes	論文
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN0006957X-00000059-0013

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

言語学習における作動記憶の役割

— 健常者・児を対象とした研究の展望を中心に —¹⁾

Roles of Working Memory on Language Learning

— Review of the Studies about Normal Adults and Children —

佐々木 尚*

Takashi Sasaki

This article examined roles of working memory on language learning. The studies that investigated the important systems of working memory on language learning were reviewed: 1) Model of working memory that Alan D. Baddeley proposed was introduced. 2) Experimental studies about relationships between working memory and language learning were reviewed. 3) Correlation studies about working memory and language learning were reviewed. 4) Correlation studies that explored relationships between working memory and school achievement were reviewed. 5) Studies about “paradox of working memory” on language learning were introduced. It was concluded that working memory systems, especially phonological loop and central executive, played important roles on language learning.

本稿では、作動記憶と言語学習の関係について検討した研究を展望する。そして、様々な作動記憶の下位システムのうち、どのシステムが言語学習に重要な役割を果たすかを検討していく。まず本稿では、作動記憶の諸モデルの中で最も有名な Baddeley のモデルについて説明する。これは、のちの議論で Baddeley のモデルを踏まえながら考察していくためである。その後、作動記憶と言語学習との関連を検討した実験研究、相関研究について展望し、これらと関連が深いと考えられる言語教科の学業成績との相関研究についてみていく。さらに「ワーキングメモリのパラドックス²⁾」について説明した後、最後に本稿のまとめを行う。

なお、作動記憶と文章理解や言語理解との関係について述べたモデルは数多くあるが (e.g., Just & Carpenter, 1992; Just, Carpenter, & Varma, 1999; Caplan & Waters, 1999; MacDonald & Christiansen, 2002), 本稿では言語学習という現象そのものに限定して話を進めていくためここでは取り上げない。また、発達性読み書き障害や言語特異性障害も言語学習や言語教育の領域では重要なトピックであ

* 慶應義塾大学大学院社会学研究科教育学専攻博士課程 (教育心理学, 認知心理学)

¹⁾ 本稿における言語学習は language learning のことであり、有意味語を課題に用いた記憶実験である verbal learning とは異なるものである。また、本稿では言語教科に関する相関研究も言語学習研究に含める。

²⁾ 本稿では三宅・齊藤 (2001) に従って、working memory の訳語を作動記憶とした。しかし、「ワーキングメモリのパラドックス」に関しては、原文の表現をそのまま引用したため、ワーキングメモリという訳語を使った。

るが、これも本稿では取り上げないことを先に断っておく。

作動記憶のモデル—Baddeley のモデルについて—

作動記憶とは、短期的な記憶の保持と情報の操作を司るシステム (Baddeley, 2001) である。また、作動記憶はいくつかのシステムに分けられることが予想され、容量の限界や長期記憶との関与も仮定されている (Miyake & Shah, 1999)。

作動記憶のモデルは数多いが、最も有名で最も多く利用されているモデルは Baddeley のモデルであろう (Baddeley, 2000, 2001)。このモデルは、中央実行系に 3 つの隷属システムがつき、それらに対応して 3 つの結晶性認知システムが存在するというモデルである。隷属システムは、言語的な情報の短期的保持およびリハーサルを司る部分である音韻ループ (phonological loop)、視覚的・空間的情報の保持およびリハーサルを司る部分である視空間スケッチパッド (visuospatial sketchpad)、そして最近付け加わったエピソードバッファー (episodic buffer)、の 3 つがあり、さらに隷属システムには下位システムが仮定されている。音韻ループの下位には音韻ストア (phonological store) と構音リハーサルシステム (articulatory rehearsal system) が、視空間スケッチパッドの下位には視覚キャッシュ (visual cache) とインナー・スクライブ (inner scribe) が仮定されている。また、音韻ループに対応する結晶性システムとしては、言語 (language)、視空間スケッチパッドに対応する結晶性システムは視覚的意味 (visual semantics) が考えられている。中央実行系は、作動記憶システムの制御にかかわる部分とされており、現在では記憶の短期的保持には関与しないとされている (Baddeley & Logie, 1999)。最近の理論的進展によって中央実行系の機能も整理されてきており、焦点的注意、分割的注意、転換的注意など、「注意」にその機能は集約されそうな気配である (Baddeley, 2001)。

最近新しく導入された隷属システムがエピソードバッファーである (Baddeley, 2000)。このシステムの機能は今まで中央実行系の機能として含まれていたもので、様々な資源からの情報の統合や、長期記憶とのインターフェースを司るとされている。エピソードバッファーに関連した論文はまだ数少ないが (Baddeley & Hitch, 2000; Baddeley, 2001; Baddeley, 2002)、神経心理学的研究 (Baddeley & Wilson, 2002)、実験研究 (Jefferies, Ralph, & Baddeley, 2004)、相関研究 (Alloway, Gathercole, Willis, & Adams, 2004) など少しずつではあるが実証データが集まってきている。ちなみに、エピソードバッファーに対応する結晶性システムは、エピソード長期記憶 (episodic LTM) である。

言語学習に関する実験研究

作動記憶と言語学習との関連を検討した実験研究として、まず Baddeley らの研究グループが行ってきた外国語学習の研究を挙げる。彼らの実験パラダイムは以下になる。まず、単語-非単語の対連合学習を被験者に求めた。ここでいう非単語とは、具体的にはロシア語やフィンランド語など外国語の発音をする単語を、被験者の母語 (彼らの実験ではイタリア語、英語) の表記方法で書き直したものであり、これを視覚提示または聴覚提示することによって実験を行った。この対連合課題は、外国語の単語を単語帳を用いて暗記するのに似ている。また、この課題の統制群としては単語-単語の対連合課題を設けていた。そして、対連合課題をしている最中に作動記憶に負荷をかけた。作動記憶に負荷をかける方法としては、構音抑制法が用いられた。これは、被験者が一次課題を遂行しているときに「あ、い、う、え、お」「1, 2, 3」といった音を発声してもらうという課題であり、Baddeley のモデルで言うところ

の音韻ループの働きを選択的に妨害するという課題である。また、Baddeley らは音韻性短期記憶に神経科学的に障害を負った被験者に単語-非単語の対連合課題をしてもらう、という研究も行っている。

Baddeley, Papagno, & Vallar (1988) では、音韻性短期記憶に障害を負った P.V. という名前の患者に協力してもらい、単語-非単語の対連合課題（具体的にはイタリア語-ロシア語）を遂行してもらった。その結果は驚くべきものであった。P.V. は単語-単語の対連合課題は健常者と同様に学習することができた。しかし、単語-非単語条件ではうまく学習することができなかった。刺激を聴覚提示した条件では、反復を繰り返すごとに健常者は成績を向上させていったが、P.V. は 10 回反復しても 1 つのペアも学習できなかった。刺激を視覚提示する条件では、P.V. も反復すごとに成績を向上させていったものの、健常者よりかなり低い成績しか収めることができなかった。

Papagno, Valentine, & Baddeley (1991) では、一般の大学生を対象にして Baddeley, et al. (1988) の追試を行った。この実験では構音抑制法を行うことによって被験者の音韻性短期記憶を一時的に妨害し、単語-非単語の対連合学習を求めた。その結果は、Baddeley, et al. (1988) とほぼ一致した。第 1 実験ではイタリア人の被験者にイタリア語-ロシア語の対を聴覚提示し、対連合学習を求めたところ、反復を繰り返すごとに構音抑制条件と統制群（単純タッピング条件）の成績差は拡大した。第 2 実験では刺激を視覚提示することによって行ったが、同じ結果が得られた。しかし、第 3・4 実験では英語話者に英語-ロシア語の対連合を求めたが、実験結果は再現されなかった。この結果は、英語とロシア語には類似している語があり、それが構音抑制の効果を出にくくしていたのではないかと考察された。そこで、実験 6 では無意味つづり字-無意味つづり字の対連合学習を課題にし、実験 7 では英語とは音韻的に似ていないフィンランド語との対連合学習を求めたところ、実験 1・2 の結果を再現した。

また、Papagno & Vallar (1992) は、二重課題法の代わりに発音の類似性や単語の長さといった音韻的作動記憶の負荷を高める要因を設定して対連合学習の実験を行った。発音が似ている刺激が連続した場合はそうでない場合に比べ記憶成績が落ちることが知られている（音韻的類似性効果）。また、発音にかかる時間が長ければ長いほど記憶成績は落ちることが知られている（語長効果）。実験の結果、刺激が単語-単語のときよりも単語-非単語の学習に対して音韻的類似性効果が現れ（実験 1）、学習時と再生時の間に遅延時間を設けてもこの効果は現れた（実験 2）。また、実験 3 では刺激が単語-単語のときよりも単語-非単語の学習に対して語長効果が現れた。この結果から音韻的短期記憶は新奇な語彙の学習に関与していると解釈された。

Papagno & Vallar (1995) は多言語に精通したポリグロットたちに対して一般知能、母語の語彙の知識、言語性の短期記憶課題、視空間性の短期記憶課題、視空間性の学習課題、そして、彼らが今まで使ってきた単語-単語/単語-非単語の対連合課題を課し、それを非ポリグロットたちの成績と比較した。その結果、一般知能、母語の語彙の知識、視空間性の短期記憶課題、視空間性の学習課題に関しては 2 群間に差はなかったが、言語性の短期記憶課題の成績はポリグロット群のほうが有意に高かった。また、単語-単語の学習課題では両群に差はなかったが、単語-非単語の学習課題においてポリグロット群のほうが非ポリグロット群よりも優れた成績を残した。このことから、音韻的短期記憶の容量と新奇の語彙の学習は密接な関係にあることが推測できる。また、これらすべての課題を主成分分析したところ、語彙課題の成績と対連合学習課題の成績は同じ因子で説明できることが分かった。このことから、新しい語の学習には元々持っている語彙の知識も関与していることが推測できる。

言語学習における音韻的作動記憶の役割は、統語的学習でも確認されている (Ellis & Sinclair, 1996)。

彼らは刺激にウェールズ語の短文を用い、この文法規則を負荷を与えない条件、提示された刺激を口頭で反復する条件、構音抑制条件の3条件のいずれかで被験者に学習させた。学習フェーズにおいて先述した条件で課題反復させたあと、被験者は文法の正しさを判断させる適格性課題、規則構造のメタ言語的意識を測る規則課題、学習時の刺激を口頭で再生する言語産出課題を行った。その結果、規則課題において、構音抑制条件は反復条件より有意に成績が低く、負荷を与えない条件との差は有意傾向であった。また、言語産出課題においてもほぼ同様な傾向が見られた。これらの結果から、外国語の語句の理解や翻訳、文法規則の顕在的なメタ言語的知識、外国語の語句の獲得、外国語の発音の正確さ、そして、文法の流暢さと正確さに音韻性作動記憶におけるリハーサルが関与していることが明らかになった。

Baddeley, Gathercole, & Papagno (1998) はこれらのような実験室研究の結果と言語発達、言語に関する障害の研究の知見と合わせて、音韻ループはなじみのない音韻の形態を持った言語学習に重要な役割を持つ、と結論づけた。そして、音韻ループにはさらに音韻ストアという記憶の短期的保持を司るものと構音コントロール過程というリハーサルなどのアクティヴな機能を司る2つの下位システムがあるが、このなかでも前者が言語学習に最も重要であると主張した。音韻ストアは、そのことばに関する恒久的な記憶構造ができるまで、なじみのない音韻の情報を保持する、言語学習の基礎的なデバイスである、と述べている。

いままでは言語学習における音韻ループの役割について述べてきたが、作動記憶の他のシステムも言語学習に影響を与えている可能性のあることを以下に付け加えておく。Duyck, Szmalec, Kemps, & Vandierendonck (2003) は視覚的コードが使えないときに言語的作動記憶が単語の対連合学習に関与してくると主張した。彼らの実験1と3では、有意味語であっても抽象度の高い、つまりイメージ喚起度が低い単語の学習は構音抑制を受けるという結果が出た。また実験2では、非単語でも実験の前に無意味な図形との対連合学習をしてイメージ喚起度を高めておく構音抑制を受けないという結果が出た。この結果は、音韻ループが妨害された際に、視空間スケッチパッドが言語学習を補償してくれる可能性を示してくれる。

以上のことから、言語学習に関する実験研究の領域においては音韻的作動記憶つまり音韻ループが強く関与していることが示唆された。しかし、Duyck, et al. (2003) の知見から分かるように、視空間的作動記憶ないしは視空間スケッチパッドも言語学習に寄与していることが考えられる。また、学習前から持っている語彙に関する知識も言語学習に関与していることが予想できる。

言語学習に関する相関研究

作動記憶と言語学習との関連を調べる方法として、作動記憶の個人差を測る指標と言語学習の成績との相関関係を見る研究が広く行われている。作動記憶の指標としては、短期的な記憶の保持機能を測る単語スパン課題や数唱スパン課題が、また、制御機能やBaddeleyのモデルで言うところの中央実行系の機能を測るものとしてはリーディングスパンテストや演算スパンテストなどの複雑スパンテストが用いられている。また、音韻的作動記憶の機能を測る課題として非単語反復課題 (nonword repetition task; e.g., Gathercole & Baddeley, 1989) も用いられている。非単語反復課題とは、実験者が口頭で非単語を提示し、それを被験者が口頭で再生するという課題であり、発達心理学において幼児や児童を対象に研究をする際に多用される課題である。齊藤 (1994) はこの課題に対し、短所と長所を以下のように述べている。短所は、この課題が余りにも簡単なため年長の子どもでは利用価値が少ないということである。

ある。長所は2つある。まず1つ目は実施が容易で子どもの認知的負担が小さく、さらにこの課題で求められるような言葉の反復は子どもが日常において行っているため実験が自然な形でできる、ということである。2つ目は、数唱スパン課題のような音韻的作動記憶の他の課題に比べて純粋な音韻的記憶容量が測定できるということである。しかし、この課題にも音韻的記憶と語彙的知識にかかわる成分があり、その度合いは刺激に使用される非単語の“単語らしさ”に決定されるようだ。Gathercole (1995) は、単語らしさの低い非単語の反復課題は音韻的記憶に依存し、単語らしさの高い非単語の反復課題は長期的な語彙的知識に媒介される、と主張している。

幼児を対象にした研究としては、Gathercole & Baddeley (1989) が挙げられる。彼女らの研究では、4歳児における非単語反復課題の成績と語彙課題の成績との相関係数は.525であり、ステップワイズ法の重回帰分析で年齢や非言語性知能を統計的に統制したあとも語彙課題の成績の15%を予測することができた。また、5歳児においても同様の結果を示し、さらに4歳児の非言語性知能や語彙、非単語反復課題などを独立変数に、5歳児の語彙課題の成績を従属変数にしてステップワイズ法による重回帰分析を行ったところ、非単語反復課題はいまだに独立変数として有意であった。これらの結果から、彼らは音韻的記憶は幼児期における新奇の語彙の獲得に関与していると結論づけた。

Gathercole & Baddeley (1990) は、動物型のおもちゃの名前を学習するという課題を用いて、これと非単語反復課題の成績との関係を検討した。おもちゃの名前にはThomasのようななじみのある名前とMetonのようななじみのない名前の2条件が設けられた。実験の結果、非単語反復課題の成績がよい群は低い群に比べなじみのない名前の学習成績がよいが、なじみのある名前の学習成績に差はないことが分かった。また、なじみのない名前となじみのある名前の学習試行数を従属変数に、レイヴンのマトリクス課題や読みと語彙の能力を独立変数にとって階層的重回帰分析を行ったが、読みと読解の能力は有意な予測力を持たなかった。このことから非単語反復課題に関する技能となじみのない名前を学習する速さには密接な関係があり、それは読みや語彙の能力を介した偽相関ではないことが示唆された。また、非単語反復課題の成績が低い群は高い群に比べ遅延再生の成績も悪かった。

また、Gathercole, Hitch, Service, & Martin (1997) は5歳児を被験児にしてBaddeley, et al. (1988) らが用いた対連合学習課題、音韻的記憶の課題、語彙の知識に関する課題、そして非言語性の能力に関する課題を使って研究を行った。その結果、新しい単語の音の学習には音韻的記憶と語彙の知識が有意に関与していた。また、親近感の強い単語の学習には語彙の知識のみが関与し、音韻的記憶の関与は認められなかった。このことから、彼らは新奇の音韻を持つ語の学習には語彙の知識と音韻的短期記憶の両方が関与していると結論づけた。

小学生を対象とした研究としては以下のものがある。Service (1992) はフィンランドの小学生を被験者にして非単語反復課題と英語学習との関係を調べる研究を行った。その結果、非単語反復課題の正答数は英語の成績と高い正の相関を示した(実験1)。また、非単語を視覚提示し遅延時間を入れたあと刺激を書かせるような非単語反復課題の場合、この課題の誤答数と英語の成績とは高い負の相関を示した(実験2)。これらの結果から、Serviceは作動記憶において親密度の低い音韻を表象する能力は外国語学習における新しい語彙の獲得に関与していると結論づけた。

中学・高校生を対象とした研究としてはCheung (1996) が挙げられる。この研究では香港のハイスクールの生徒を被験者として、音韻的記憶と語彙獲得の関係が検討された。まず、相関分析の結果、英単語スパンと非単語スパンはともに語彙学習課題の試行数に対して有意な相関を示した。また、語彙学

習課題の試行数を従属変数に、年齢、非言語性知能、英語の読みの理解、英単語スパン、非単語スパンを独立変数にして重回帰分析を行った。その結果、非単語スパンが独立変数として有意であり、英単語スパンは非単語スパンの前に投入したときは有意であったが、非単語スパンのあとに投入したところ予測力を失った。さらに英語の語彙量で被験者を2群に分け、それぞれの群ごとに重回帰分析を行ったところ、語彙量の小さい群では非単語スパンは語彙学習課題の試行数に対して有意な予測力を持ったが、語彙量の大きい群では有意な予測力を持たなかった。この結果から、長期的な語彙に関する知識が利用できるになると音韻的記憶は語彙学習に対して有意な貢献をしなくなることが示唆された。

いままでは幼児や児童、10代の生徒を対象に行った研究を見てきたが、高齢者を対象にした研究も存在する。Service & Craik (1993) は被験者に平均25.2歳の群と平均72.3歳の群の2群をおき、彼らの外国語の語彙学習にかかわる要因の違いを検討した。この研究では年齢、音韻に関する親密度、ターゲット語と手がかり語の連想価の主効果が現れたが、年齢と手がかり語の難易度の交互作用は見られなかった。つまり、年齢が高いからといって外国語の語彙学習に困難を示すわけではないことがこの結果から示唆された。しかしながら、高齢者群にのみ学習と音韻的作動記憶の指標と考えられるフィンランド語の反復との間に有意な相関が見られたことから、高齢者の語彙学習は若年群に比べより音韻的作動記憶に依存していることが示唆された。

また、作動記憶は独立に言語学習に影響を与えるだけでなく、被験者の他の特性との交互作用も影響を与えている。Riding, Grimley, Dahraei, & Banner (2003) は作動記憶と認知スタイルが中学生の学習行動に与える影響を検討したところ、作動記憶容量と認知スタイルとの交互作用を見出した。具体的には、作動記憶容量の大きい被験者は分析的処理を行ったほうがよい成績を収め、小さい被験者は全体的処理を行ったほうが成績がよかった。また、作動記憶容量の大きい被験者は言語化処理を行うほうが成績がよく、小さい被験者は視覚的処理を行ったほうが成績がよかった。

以上のことから、言語学習と作動記憶の相関研究に関しては音韻的作動記憶つまり音韻ループが強く関与していることが示唆された。同時に、学習前から持っている語彙の知識も関与していることも示唆された。

言語教科の学業成績に対する作動記憶の影響

作動記憶と学業成績との相関関係を調べる研究も最近盛んになってきた。学業成績の指標としては、SAT (e.g., Turner & Engle, 1989; Engle, Nations, & Cantor, 1990; La Pointe & Engle, 1990; Daneman & Hannon, 2001) や BAS (e.g., Gathercole & Pickering, 2000a; Hitch, Towse, & Hutton, 2001; Cowan, Towse, Hamilton, Elliot, Lacey, Moreno, & Hitch, 2003) などがよく使われている。また、試験の成績と併用する形で教師による児童たちへの評価も学業成績の指標として使われている (e.g., Gathercole & Pickering, 2000b; Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004)。また、作動記憶の指標としては単語スパン課題や数唱スパン課題、複雑スパン課題などが用いられている。

Lehto (1995) は15から16歳の生徒を被験者にして作動記憶と学業成績の関係を検討した。実験1で複雑スパンテスト (リスニングスパンテスト、演算スパンテスト) と母語 (フィンランド語)、外国語、数学、地理との相関を見たところ、すべて正の相関係数を取り、かつ有意であった。実験2ではこれらの変数に加え、複雑スパンテストと同様に中央実行系に深くかかわっていると考えられる記憶更新課題と音韻ループに深くかかわっていると思われる数唱スパン課題、単語スパン課題を併せて行い、学業成

績との関係を検討した。その結果、数唱スパン課題は外国語、数学と、単語スパン課題は母語と有意な正の相関を示した。しかし、中央実行系に関する課題の成績を用いて偏相関を算出したところ、単語スパン課題は予測力を失い、数唱スパン課題はリスニングスパンテストか記憶更新課題の影響を除去したときに外国語との偏相関のみが有意になり、数学とは有意にはならなかった。一方、中央実行系に関する3課題と学業成績との相関は数唱スパン課題や単語スパン課題の影響を除去してもおしなべて有意なままであった。

Gathercole & Pickering (2000a) は系列再生や非単語反復課題などの音韻ループに関する課題、マトリクスや迷路などの視空間スケッチパッドに関する課題、複雑スパンテストや数字の逆唱課題などの中央実行系に関する課題を6歳と7歳の児童に課した。また、1年後に語彙や算数、リテラシーに関する標準テストも課し、これらと作動記憶との関連を検討した。まず、作動記憶課題の成績を探索型因子分析にかけたところ、視空間スケッチパッドに関する因子が抽出されず、視空間性の課題は中央実行系の課題と同じ因子で説明されることになった。さらに、Gathercole & Pickering は作動記憶システムと学業成績との相関を計算した。音韻ループは7歳児の語彙、リテラシー、数学の成績と8歳児の語彙の成績との間に有意な相関を示した。しかし、年齢と中央実行系を統制して偏相関を算出したところ、7歳児と8歳児の語彙との偏相関のみが有意であった。一方、中央実行系は全ての学業成績との相関が有意であり、年齢と音韻ループを統制し終わったあとでも偏相関は8歳児の語彙の成績との間以外はすべて有意なままであった。

Gathercole & Pickering (2000b) はナショナルカリキュラムテストにおける低学力児の作動記憶機能を調べ、それを学力に問題のない児童の作動記憶課題の成績と比較した。その結果、英語と算数の成績が低い児童と英語か算数の成績が低い児童の群は問題のない群に比べ、中央実行系の機能に関する課題や視空間的記憶に関する課題においてとくに成績が有意に低かった。また、サンプル数が余りにも少ないため検定にはかけられてはいないが、英語のみ成績の低い児童と問題のない児童の平均得点を比較すると、中央実行系に関する課題と視空間的記憶に関する課題の成績に低学力児のほうが低いものが多く見られ、効果量もかなり大きなものが多かった。

Gathercole, et al. (2004) では、作動記憶と英語、数学、科学の各教科との関係が研究された。7歳の段階において作動記憶課題の得点と英語、数学との間に中程度の相関が見られ、特に複雑スパン課題の得点との結びつきが顕著であった。しかし、14歳の段階においては作動記憶課題と英語の得点との間には強い結びつきは見られなかった。このことから幼少時におけるリテラシーの獲得には作動記憶は強くかかわっているが、14歳時における英語の理解や分析といった高次のスキルの達成は作動記憶容量と独立であることが示唆された。また、学力水準によって被験者を3群に分け、中央実行系に関する課題の合成得点と音韻ループに関する合成得点を従属変数にとってGP分析を行ったところ、音韻ループ課題は低学力群と平均群には差が見られなかったものの、中央実行系に関しては低学力群は他の群よりも成績が低かった。

これらの研究から、隷属システムに関する指標に比べ中央実行系の指標のほうが学業成績との結びつきが強いことが示唆された。

では、作動記憶課題からとることのできる様々な指標のうちどの指標が最も言語教科の学業成績を予測するのだろうか。Hitch, et al. (2001) は9歳、10歳、11歳の児童のリーディングスパン、演算スパン、一般的な処理速度、2つの複雑スパン課題の処理速度、BASの単語の読み課題と数的スキル課題の

成績を測定し、BASの2変数を従属変数とした階層的重回帰分析を行った。単語の読み課題を従属変数にし、年齢を1番目、一般的な処理速度と2つの複雑スパンテストの処理速度を2番目、リーディングスパンテストを3番目、演算スパンを4番目に投入してモデルを作ったあとリーディングスパンと演算スパンの順序を入れ替えたモデルも作りその結果を比較した。そうすると、後に入れた複雑スパンのほうが予測力が低くなったが有意であったことから、単語の読み課題の得点の分散のうち複雑スパンが説明しうる部分は2つの複雑スパンに共通している部分と独自に説明する部分が存在することが示唆された。また、処理速度の層と複雑スパンの層を入れ替えると処理速度の予測力が低下するがいまだに有意で、逆に複雑スパンを後に投入すると複雑スパンの予測力が著しく低下することから、複雑スパンと処理速度の共通する部分は存在するが、処理速度の方がより大きな予測力を持つことが示唆された。このことから処理の速さが言語教科の成績をよりよく予測できることが考えられる。

また、Cowan, et al. (2003) は実験1において平均8歳5ヶ月の児童を対象に、作動記憶の指標として複雑スパンテストを遂行する際の再生フェーズにおける思い出すための準備時間や単語の再生時間、単語間の休止時間などを測定し、これらと複雑スパン数、数的スキルを独立変数に、単語の読み課題を従属変数にして重回帰分析を行った。その結果、反応時間が独自に従属変数の成績の分散を説明する比率は14%であり、これは複雑スパンや数的スキルの独自成分が占める比率よりも大きかった。また、実験2では、高校の成績のパーセンタール順位に占める準備時間の独自成分の割合はスパン数の独自成分の割合よりも大きかった。

複雑スパンテストは様々あるがいったいどれが最も言語教科の学業成績に対して予測力が高いのだろうか。Daneman & Merikle (1996) の文章理解課題と作動記憶課題との関連研究のメタ分析によればリーディングスパンテストでも演算スパンテストでも中程度の予測力を持つことから、言語教科の学業成績に対しても同じ予想が成り立つ。だが、複雑スパンテストのすべてが言語科目の学業成績を予測できるとは限らないようだ。Jurden (1995) の実験1では言語性の作動記憶課題であるリーディングスパンテストと非言語性の作動記憶課題の演算スパン課題を独立変数に、アメリカン・カレッジ・テストの英語、数学、読解、科学を従属変数にして重回帰分析を行ったところ、リーディングスパンテストは予測力を持つが演算スパンテストは予測力を持たないモデルが採択された。

以上のことから、言語教科の学業成績に対して作動記憶の個人差は有意な予測力を持つことが分かった。また、予測力は音韻的作動記憶ないしは音韻ループに関する指標よりも、作動記憶の制御機能ないしは中央実行系に関する指標のほうが高いことが分かった。

ワーキングメモリのパラドックス

次に本稿ではワーキングメモリのパラドックスについて説明する。これを取り上げる理由は、この現象にかかわる研究に言語学習と関連の深いものが数多く含まれているからである。ワーキングメモリのパラドックスとは、作動記憶容量が大きいと認知活動における課題遂行に有利である、つまり「適応的」であると思われるのに、作動記憶容量には厳しい限界がある、という矛盾のことである(齊藤, 1998)。

作動記憶容量を測るリーディングスパンテストなどと文章理解テストとの間には、.3から.4の相関があることが知られている(Daneman & Merikle, 1996)。また、問題解決課題や学業成績との間にも正の相関があることが知られている。以上のことから考えると、ヒトの作動記憶容量はすごく大きいほうが適応には有利であると思われるのだが、実際にはヒトの作動記憶容量はとても小さい。例えば、芋

阪・芋阪(1994)では、リーディングスパンテストの平均スパンは3の半ばであった。また、純粋な短期記憶容量は4程度であるという(Cowan, 2001)。

齊藤(1998)は、少なくとも2つの方向から容量限界の意味を検討する必要があるとしている。1つ目は、生物進化における最適化という考えである。2つ目は、記憶容量が小さいことによるメリットである。

まず1つ目の最適化であるが、ここでいう最適化とは、認知課題遂行中の作動記憶の働きを最も効率的にするために作動記憶を適正な容量にする、ということである。

記憶容量の最適水準に関しては、数理学習理論による研究が30年程前に行われている。Dirlam(1972)によると、記銘項目を探索するのにかかる時間の平均が最も小さくて済むのは、1チャンクに4項目が入っているときで、探索時間の最大値が最も小さくて済むのは1チャンクにつき3項目が入っているときである、という。また、これから15年ほど経ったMacGregor(1987)においても、記憶走査を最適化する項目数が数理的に検討されている。彼によると、悉皆走査の場合は項目数が5以上、自己打ち切り走査の場合は項目数が7以上にならないとチャンキングの恩恵を受けないという。このことから、記憶の組織化をするには最適な項目数が存在し、さらに、最適水準は検索方略によって変化することが示唆される。

また、神経科学的に考えても、作動記憶容量に最適水準があるのではないかと、ということが想像される。1つ目の理由としては、脳の機能を維持していくにはかなりのコストがかかるため、そのことを考えると、作動記憶容量が大きいことは望ましくない。栄養分をたくさん食わない程度に作動記憶容量を設定しておくことが個体の生存にとっては有利なのかもしれない。2つ目の理由としては、脳の過活性化の問題である。作動記憶負荷が大きくなると脳の活動レベルが高くなるらしい。このことを、齊藤(1998)は「芋阪論文(1998)が文献展望で論じているように、PETやfMRIのような脳機能測定法による研究から明らかになったことの1つに、課題中のワーキングメモリの負荷が多くなれば、それだけ脳の活動レベルが高くなるという結果がある。逆に、脳の活動レベルを抑えるためには、必然的にワーキングメモリの容量に制限を加えなければならないということになる(p. 195)」と述べている。

このように作動記憶容量に制限をかけておくことによって、我々は情報処理を集中化できるのかもしれない(三宅・齊藤, 2001; O'Reilly, Braver, & Cohen, 1999)。また、容量制限があるために、重要な情報処理活動に集中することができ、あるいは重要な処理活動にのみ集中せざるをえなくなるが、もし、そのような制約がなければ関連情報の活性化に歯止めが聞かなくなり、認知活動が一貫性のないものになってしまうことが考えられる(三宅・齊藤, 2001)。

以上のことが、ワーキングメモリのパラドックスの研究に対する、最適化という概念からの理由づけである。

2つ目の作動記憶容量が小さい方が課題遂行に対して有利である、という意見は一見奇妙に思えるかもしれない。しかし、いくつかの限られた領域では、作動記憶容量が小さいことによる優位性が示されており(Miyake & Shah, 1999)、言語学習に関する研究が数多く見られる。

例えば、“The less is more hypothesis (Newport, 1991)”が挙げられる。彼は、手話の学習や第二言語獲得における臨界期に対する考察をもとに、子どもの発達における初期の認知的限界は言語発達に関しては良い影響を及ぼす、と主張した。この理由として、彼は、認知的限界がある場合の方が言語に対する内的分析がしやすいことを挙げている。子供は認知的限界があるため他人の発話の中から少ししか

情報を抽出できないが、それゆえに少しずつ言語に対する分析をすることができ、認知的限界が解消されていくにつれて分析された項目を増加させていく。そのようにして言語獲得において誤りを少なくしている。しかし、大人は多くのことを一遍に抽出できるが、一度に多くの分析をするという困難に陥るため、言語獲得において誤りが多くなる。

この仮説と似たような研究が、コンピュータシミュレーションで行われている。Elman (1993) は関係節を含む複雑な文の学習をシミュレーションした。その結果によると、文脈層から隠れ層へのループを操作して、人間で言うところの作動記憶容量を最初は小さく、そしてだんだん大きくするようにしたほうが、最初から作動記憶容量が大きいときに比べて文の学習において誤りが少ない、ということが明らかになった。

また、Cochran, McDonald, & Parault (1999) による、アメリカンサインランゲージ (ASL) の研究もこの考えを支持している。この研究では、手話を学習する際に計数課題を同時に課した負荷あり条件の大学生被験者のほうが、負荷無し条件の被験者よりも学習時間は長くなるが、学習した ASL 動詞の未学習文脈での使用に関しては成績が良い、という結果が出た。この結果の解釈としては、作動記憶容量を制限すると、文の全体的処理ができなくなる代わりに、言語の内的構造を分析できるようになる。そのことが、新しい文脈での般化を生み出す、ということが主張された。ただし、「少しずつ覚えていくこと」が本当に利益を与えているかについては疑問が残る。実験 3 では、多要素が一度に提示される課題を用い、これを全体的処理をする群と要素のうちの 1 つか 2 つだけを部分的に学習する群に分け、成績を比較したが、部分的学習の有利さは認められなかった。

音韻意識の獲得においても作動記憶容量が小さいことによる有利さが指摘されている。Gibbs (2004) は 5 歳から 7 歳の被験児に対して音韻意識の獲得に関する比較的短期間の縦断研究を行った。最初のセッションではライム意識、音素意識、記憶範囲、語彙量を測定した。そして 6 ヶ月後に、同じ尺度を測定した。年齢と最初のセッションの変数、最初の語彙量と最初の記憶範囲の交互作用項を独立変数に、2 回目のセッションのライム意識の得点を従属変数にして階層的重回帰分析を行ったところ、年齢、最初のセッションのライム意識が有意となった。また、語彙量と記憶範囲の交互作用も有意となった。交互作用が有意となったことから、記憶範囲が小さく語彙量が多い被験児は記憶範囲が大きい被験児と同じかそれ以上にライム意識を獲得したことが示唆された。また、2 回目のセッションの音素意識を従属変数にして同様の分析をしたところ、年齢、最初の音素意識、最初の語彙量、最初の記憶範囲、そして語彙量と記憶範囲の交互作用が有意になったことから、記憶範囲が小さく語彙量が多い被験児は記憶範囲が大きい被験児と同じくらい高い音素意識を獲得したことが示唆された。

語彙学習に関しては、Sasaki (2004a, 2004b) が作動記憶容量の小さいことによる有利さを見出している。Sasaki は Baddeley, et al. (1988) が用いたような単語-非単語の対連合課題と構音抑制課題を用いて、構音抑制の長期的効果を検討した。これらの研究では構音抑制条件と単純タッピング条件の両方の群の被験者に、単語対を完全学習したあと、11 分間の遅延時間の後に同じ課題を単純タッピング条件で再学習するよう求めた。その結果、構音抑制条件の被験者達は単純タッピング条件の被験者に比べ有意に再学習時の間違いが少なくなった。このことから、語彙学習の領域でも記憶容量の小さいことによる有利さが見出せることが明らかになった。

以上が、作動記憶容量が小さいことによるメリットに関する研究である。

考 察

本稿では、言語学習に関する実験研究、相関研究と言語教科の学業成績と作動記憶との相関研究、そしてワーキングメモリのパラドックスに関連する研究について見てきた。これらの研究から作動記憶は言語学習に対して重要な役割を持つことが示唆され、特に、言語学習課題の遂行においては音韻ループが重要であることが明らかになった。

しかし、学業成績との相関研究のところでも明らかになったように、音韻ループよりも中央実行系のほうが重要な役割を果たすことも示唆され、Baddeley, et al. (1998) の結論とやや異なる知見も得られた。この点に関しては、Engle, Cantor, & Carullo (1992) が有効な意見を提示してくれる。彼らは、理解において短期記憶の成分は表面的レベルの符号の保持に重要であり、作動記憶の成分はメンタルモデルや物語の要旨の構築に重要であると述べた。このことを踏まえると、学業成績の指標として用いられた標準テストは単語の対連合課題などよりも複雑な思考や理解といった高次認知にかかわる部分が大いいため、中央実行系に関する課題のほうとより大きい相関が見られたのであろうと説明することができる。

また、視空間スケッチパッドによる言語学習に対する補償効果なども検討すべきであろう。この点に関しては Paivio (1971, 1986) の二重符号化理論 (dual coding theory) やこれを発展させた Mayer とその共同研究者たちの理論 (e.g., Mayer, 1997; Mayer, 2002; Mayer & Moreno, 2002) が非常に有効な示唆を与えてくれるであろう。二重符号化理論とは、階層的な概念的構造を持っているシンボルシステムについての理論であり、このシステムは言語的なシンボル下位システムと非言語的なシンボル下位システムを持つ。これらの下位システムは独立しているが相補的なものでもあり、言語的側面と非言語的(心的イメージ的) 側面の両方から符号化を行い、この下位システム間を越えた結びつきを作ることによって、精緻化が起り記憶や理解が促進されるとされている。この理論の言語学習やリテラシー学習への応用を検討した文献としては Sadoski & Paivio (2001) がある。Mayer の理論はマルチメディア学習の認知理論 (cognitive theory of multimedia learning) といい、言語性、視覚性の情報のそれぞれにおいて情報を選択、組織化したあと、これら2つの表象を作動記憶内で統合することによってよりよい学習効果が得られるというものである。彼らの言語学習に関する研究としては、Plass, Chun, Mayer, & Leutner (1998, 2003) があり、いずれの研究も彼らの理論からの予測どおりに学習効果を上げた。

さらに、エピソードバッファーが言語学習に与える影響についても考えていく必要があるかもしれない。作動記憶と言語学習の相関研究を展望して分かったとおり、語彙の知識といった長期記憶にかかわる部分も言語学習にはかかわっている。長期記憶とのインターフェースというのがエピソードバッファーの機能の1つであったことから、言語学習の際に語彙的知識の取り出しといった部分にエピソードバッファーが関与していることが予想される。また、この隷属システムが持つ情報の統合機能の面からも言語学習について考えていくことができる。このことに関係のある研究として Bayliss, Jarrold, Gunn, & Baddeley (2003) を挙げる。彼らは、記憶の保持や情報処理の統合 (coordinate) を司っている成分を取り出すために、複雑スパン課題から情報の制御機能と記憶の保持機能を除いた残差の部分を取り出した。そしてこれと学業成績との相関を計算したところ、この残差は言語教科や数学の成績を有意に予測した。このことから、言語学習に対してもエピソードバッファーは一定の役割を持つことが予想される。

また、ワーキングメモリのパラドックスに関する知見から、作動記憶容量は大きければいいというも

のではないということが示唆された。ただしこの考えは直ちに一般化できるものではなく、注意が必要である。もしかしたら作動記憶容量が小さいことによる有利さはある特定の学習方略を採用したときのみ起こることであり、すべての方略において起こるものではないかもしれない。この点に関して、適性処遇交互作用 (Cronbach, 1957; 並木, 1997) の知見が有効な示唆を与えてくれる。適性処遇交互作用とは、知能、性格、認知スタイルなどの適性を持つ学習者が教授法などの異なる処遇を与えられたときのその適性と処遇との組み合わせの効果、つまり交互作用のことである。この概念はとくに教育場面で、どのような適性の学習者にはどのような教授方法が最適かという、個人差に応じた教育環境を研究・設計するために用いられてきた。当然ここで言う適性には、作動記憶容量の個人差も仮定することができるであろう。記憶容量が小さいことによる有利さが起きたのは、この適性処遇交互作用研究でいうところの補償的な方略がたまたま実験時に起こったからかもしれない。このことを確かめるために、この領域の先行研究から、記憶容量が小さくても有効な教授方略や学習方略を探し出し、これを作動記憶における学習研究に適用してみる、といった試みが必要であろう。このことに関連して、言語学習に関するものではないが、Turley-Ames & Whitfield (2003) の研究を挙げたい。これは、リーディングスパンテストの遂行における記憶方略訓練の効果を検討したもので、作動記憶容量低群においてのみ得点の伸びに対するリハーサル方略の効果が見られ、作動記憶容量高群においてはどの方略も効果はなかったという研究であった。このことに関して彼らは作動記憶容量の小さい人たちにとってはリハーサル方略は学習しやすく、彼らにとって使い慣れた方略であり、認知的リソースにあまり負荷がかからず、イメージ方略や意味的方略のように干渉が起こりにくい方略であると考察している。一方、作動記憶容量の大きい人たちにとっては、記憶方略はすでに用いられているものであるから訓練の効果は現れず、逆に方略訓練がネガティブな効果をもたらしているのかもしれないと考察した。もし、この研究結果を言語学習研究に適用されることが許されるならば、機械的リハーサルなどの単純な学習方略は記憶容量の低い人たちには恩恵を及ぼすが記憶容量の大きい人たちには妨害的な効果をもたらす。その結果、“ワーキングメモリのパラドックス”を支持するような結果が導き出されたのかもしれない、と推測することができる。もし記憶容量の小さいことによる有利さを検討したいのであれば、これらのことを踏まえて学習方略と作動記憶容量との交互作用を検討していく必要があるだろう。

本稿では作動記憶と言語学習の関係について検討した研究の展望を行った。その結果、作動記憶システムは言語学習に重要な役割を果たすことが分かった。しかし、音韻ループだけではなく中央実行系や音韻ループ以外の下位システムも重要な役割を果たすことがわかった。また、作動記憶容量が小さい場合のほうが言語学習に有利なことがある場合も指摘された。

参考文献

- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A. 2004 A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 85-106.
- Baddeley, A. D. 2000 The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D. 2001 Is working memory still working? *American Psychologist*, 56, 849-864.
- Baddeley, A. D. 2002 Fractionating the central executive. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*. New York: Oxford University Press. Pp. 246-260.
- Baddeley, A. D., Gathercole, S. E., & Papagno, C. 1998 The phonological loop as a language learning device. *Psychological Review*, 105, 158-173.

- Baddeley, A. D., & Hitch, G. 2000 Development of working memory: Should the Pascual-Leone and the Baddeley and Hitch models be merged? *Journal of Experimental Child Psychology*, **77**, 128-137.
- Baddeley, A. D., & Logie, R. H. 1999 Working memory: The multiple-component model. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press. Pp. 28-61.
- Baddeley, A., Papagno, C., & Vallar, G. 1988 When long-term learning depends on short-term storage. *Journal of Memory and Language*, **27**, 586-597.
- Baddeley, A. D., & Wilson, B. A. 2002 Prose recall and amnesia: implication for the structure of working memory. *Neuropsychologia*, **40**, 1737-1743.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M., & Baddeley A. D. 2003 The complexities of complex span: explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, **132**, 71-92.
- Caplan, D., & Waters, G. S. 1999 Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences*, **22**, 77-126.
- Cheung, H. 1996 Nonword span as a unique predictor of second-language vocabulary learning. *Developmental Psychology*, **32**, 5, 867-873.
- Cochran, B. P., McDonald, J. L., & Parault, S. J. 1999 Too smart for their own good: The disadvantage of a superior processing capacity for adult language. *Journal of Memory and Language*, **41**, 30-58.
- Cowan, N. 2001 The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral & Brain Sciences*, **24**, 87-185.
- Cowan, N., Towse, J. N., Hamilton, Z., Elliot, J. S. E. M., Lacey, J. F., Moreno, M. V., & Hitch, G. H. 2003 Children's working-memory processes: A response-timing analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, **132**, 113-132.
- Cronbach, J. L. 1957 The two disciplines of scientific psychology. *American Psychologist*, **12**, 671-684.
- Daneman, M., & Hannon, B. 2001 Using working memory theory to investigate the construct validity of multiple-choice reading comprehension tests such as the SAT. *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 208-223.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. 1996 Working memory and language comprehension: A meta analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, **3**, 422-433.
- Dirlam, D. K. 1972 Most efficient chunk sizes. *Cognitive Psychology*, **3**, 355-359.
- Duyck, W., Szmalec, A., Kemps, E., & Vandierendonck, A. 2003 Verbal working memory is involved in associative learning unless visual codes are available. *Journal of Memory and Language*, **48**, 527-541.
- Ellis, N. C., & Sinclair, S. G. 1996 Working memory in the acquisition of vocabulary and syntax: putting language in good order. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **49A**, 234-250.
- Elman, J. L. 1993 Learning and development in neural networks: The importance of starting small. *Cognition*, **48**, 71-99.
- Engle, R. W., Cantor, J., & Carullo, J. J. 1992 Individual difference in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **18**, 972-992.
- Engle, R. W., Nations, J. K., & Canton, J. 1990 Is "working memory capacity" just another name for word knowledge? *Journal of Educational Psychology*, **82**, 799-804.
- Gathercole, S. E. 1995 Is nonword repetition a test of phonological memory or long-term knowledge? It all depends on the nonword. *Memory & Cognition*, **23**, 83-94.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. 1989 Evaluation of the role of phonological STM in the Development of vocabulary in children: A longitudinal study. *Journal of Memory and Language*, **28**, 200-213.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. 1990 The role of phonological memory in vocabulary acquisition: A study of young children learning new names. *British Journal of Psychology*, **81**, 439-454.
- Gathercole, S. E., Hitch, G. J., Service, E., & Martin, A. J. 1997 Phonological short-term memory and new word learning in children. *Developmental Psychology*, **33**, 966-979.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. 2000a Assessment of working memory in six- and seven-year-old children.

- Journal of Educational Psychology*, 92, 377-390.
- Gathercole, S. E., & Pickering, S. J. 2000b Working memory deficit in children with low achievement in the national curriculum at 7 years of age. *British Journal of Educational Psychology*, 70, 177-194.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. 2004 Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 1-16.
- Gibbs, S. 2004 Phonological awareness: An investigation into the developmental role of vocabulary and short-term memory. *Educational Psychology*, 24, 13-25.
- Hitch, G. J., Towse, J. N., & Hutton, U. 2001 What limits children's working memory span? Theoretical account and application for scholastic development. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 184-198.
- Jefferies, E., Ralph, M. A. L., Baddeley, A. D. 2004 Automatic and controlled processing in sentence recall: The role of long-term and working memory. *Journal of Memory and Language*, 51, 623-643.
- Jurden, F. H. 1995 Individual difference in working memory and complex cognition. *Journal of Educational Psychology*, 87, 93-102.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. 1992 A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., & Varma, S. 1999 Computational modeling of high-level cognition and brain function. *Human Brain Mapping*, 8, 128-136.
- La Pointe, L. B., & Engle, R. W. 1990 Simple and complex word spans as measures of working memory capacity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 1118-1133.
- Lehto, J. 1995 Working memory and school achievement in the ninth form. *Educational Psychology*, 15, 271-281.
- MacDonald, M. C., & Christiansen, M. H. 2002 Reassessing Working Memory: Comment on Just and Carpenter (1992) and Waters and Caplan (1996). *Psychological Review*, 109, 35-54.
- MacGregor, J. N. 1987 Short-term memory capacity: Limitation or optimization? *Psychological Review*, 94, 107-108.
- Mayer, R. E. 1997 Multimedia learning: Are we asking the right questions? *Educational Psychologist*, 32, 1-19.
- Mayer, R. E. 2002 Multimedia learning. In B. H. Ross (Ed) *The Psychology of learning and motivation: Advances in research and theory (Vol. 41)*. San Diego, California: Academic Press. Pp. 85-139.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. 2002 Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12, 107-119.
- Miyake, A., & Shah, P. 1999 Toward unified theories of working memory: Emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and future research directions. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press. Pp. 442-482.
- 三宅 晶・齊藤 智 2001 作動記憶研究の現状と展開. 心理学研究, 72, 336-350.
- 並木 博 1997 個性と教育環境の交互作用—教育心理学の課題. 培風館.
- Newport, E. L. 1991 Constraining conceptions of the critical period for language. In S. Carey, & R. Gelman (Eds), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum. pp. 111-130.
- O'Reilly, R. C., Braver, T. S., & Cohen, J. D. 1999 A biologically based computational 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. 442-481.
- 荻坂満里子・荻坂直行 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.
- Papagno, C., Valentine, T., & Baddeley, A. 1991 Phonological short-term memory and foreign-language vocabulary learning. *Journal of Memory and Language*, 30, 331-347.
- Papagno, C., & Vallar, G. 1992 Phonological short-term memory and the learning of novel words: the effect of phonological similarity and item length. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44A, 47-67.
- Papagno, C., & Vallar, G. 1995 Verbal short-term memory and vocabulary learning in polyglots. *The Quarterly*

- Journal of Experimental Psychology*, 48A, 98-107.
- Paivio, A. 1971 *Imagery and Verbal Processes*. Holt, New York: Rinchart & Winston.
- Paivio, A. 1986 *Mental representation: a dual coding approach*. New York: Oxford University Press.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E., & Leutner, D. 1998 Supporting visual and verbal learning preferences in a second-language multimedia learning environment. *Journal of Educational Psychology*, 90, 25-36.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E., & Leutner, D. 2003 Cognitive load in reading a foreign language text with multimedia aids and the influence of verbal and spatial abilities. *Computers in Human Behavior*, 19, 221-243.
- Riding, Grimley, Dahraei, & Banner 2003 Cognitive style, working memory and learning behaviour and attainment in school subjects. *British Journal of Educational Psychology*, 73, 149-169.
- Sadoski, M., & Paivio, A. 2001 *Imagery and text: a dual coding theory of reading and writing*. New Jersey: Mahwah, Lawrence Erlbaum Associates.
- 齊藤 智 1994 作動記憶研究の教育的意義—音韻的作動記憶と語彙の獲得の関係から—。鳴門教育大学学校教育研究センター紀要, 8, 145-150.
- 齊藤 智 1998 ワーキングメモリのパラドックス—宇阪満里子論文へのコメント—。心理学評論, 41, 194-196.
- Sasaki, T. 2004a Articulatory suppression in a learning phase makes relearning easy. *Poster presented at 5th Tsukuba International Conference on Memory*. (March, Tsukuba, Japan).
- Sasaki, T. 2004b The long-term effect of working memory. *Poster presented at 2nd International Conference on Working Memory*. (August, Kyoto, Japan).
- Service, E. 1992 Phonology, working memory, and foreign-language learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 45A, 21-50.
- Service, E., & Craik, F. I. M. 1993 Differences between young and older adults in learning a foreign vocabulary. *Journal of Memory and Language*, 32, 608-623.
- Turley-Ames, K. J., & Whitfield, M. M. 2003 Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory and Language*, 49, 446-468.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. 1989 Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, 28, 127-154.