琉球大学学術リポジトリ

外国語習得における記憶のメカニズムとワーキングメモリ

メタデータ	言語:
	出版者: 琉球大学法文学部国際言語文化学科（欧米系）
	公開日: 2015-08-11
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 小那覇, 洋子, Onaha, Hiroko
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://doi.org/10.24564/0002007946

Ryudai Review of Euro-American Studies No. 58, 2014

外国語習得における記憶のメカニズムとワーキングメモリ

小那覇 洋子

0. はじめに

人間の記憶はコンピュータに例えられることが多い。外界から取り入れられた情報が脳内の記憶庫に保持（記憶）され，必要に応じて取り出され，日常生活を送るための情報として使用される。言語に関わる情報も脳内の記憶庫に保持され，それに基づいて知的活動が遂行される。その記憶庫は複数の記憶システムから構成され，未知の情報を取り込み，既知の情報を活性化させるのに，中心的な役割を担っているのがワーキングメモリの記憶システムである。ワーキングメモリは聴覚的情報と視覚的情報に分けて処理している。その中，言語に関わる聴覚的情報は音声情報のことであり，視覚情報は文字情報のことである。音声情報は聞いたとおりに聴覚器官を通り，ワーキングメモリにおいて一時的に保持，処理され，知的活動の役割を終えると消え去るし，必要があれば別の記憶庫（長期記憶）に長期的に記憶される。一方文字情報は視覚器官をとおして，そのまま脳内に取り込まれるのではなく，ワーキングメモリにおいて音韻化という過程を経て処理，記憶されると考えられている。

本稿では記憶のメカニズムとワーキングメモリの機能や役割，言語習得との関わり，さらにワーキングメモリと第二言語習得，外国語学習，学習不振との関わりについて述べる。

1. 記憶のメカニズム

あの人は記憶力がいい，私は物覚えがいいと言うように，「記憶」というと英単語がよく覚えられる，聞いたことをすぐ忘れる等で表現される。確かに記

憶力には個人差がある。個人差を解き明かす前に，ここではまず日常生活や知的活動が遂行される記憶のメカニズムについて知る必要がある。

1.1　短期記憶

古代ギリシャ時代から記憶についての思索は行われていたが，保持時間が異なる複数の記憶について考察するようになったのは 19 世紀に入ってからである。19 世紀の終わり頃，William James (1890, Eysenck and Keane, 1995 に引用) は意識下にある記憶を psychological present, 一次記憶と呼び，無意識下にある記憶を psychological past, 二次記憶と呼んだ。これは後に短期記憶と長期記憶と呼ばれるようになる (Atkinson & Shiffrin, 1968)。

ここで短期記憶に関わる簡単な実験をしてみよう。10 桁の数字を聞いて，直後に順次再生すると，十中八九最初と最後の桁数の成績がよく，真ん中がすとんと抜けているであろう。覚えるように言われた 10 桁の数字を聞いた時，最初の何桁かは繰り返す回数が多いことから，記憶によく残る。最後の桁数を覚えているのは聞いた直後だから，情報が新しく，記憶に残っているのである。この現象を認知心理学では最初の効果を初頭効果 (primacy effect)，最後の効果を新近効果 (recency effect) と呼んでいる。真ん中の成績が悪いので，図 1 [1] のようになる。

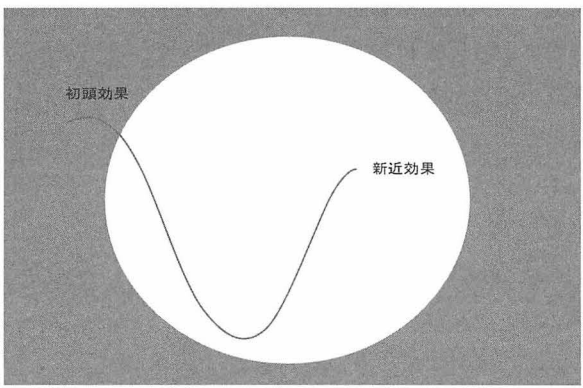

図 1

10 桁の数字は聞いた順序に情報が古くなり，最後の数字が一番情報としては新しいことになる。この新近効果は数字を覚える課題と他の課題，例えば 100 から 3 ずつ引き算をする課題を同時に行うと記憶からすぐ消えてしまう特徴がある。そのため新近効果は短期記憶と性質を共有するため短期記憶と考えられた。このように短期記憶には情報が数秒しか記憶に残らないというのが大きな特徴である（御領，菊地，江草，1993)。図 1 の記憶の行程は日頃の教室活動においても観察が可能である。授業中に生徒に指示を出す場合や次の日に持ってくる物を説明する時等，説明が長いと真ん中の部分が記憶に残らないことがある。図 1 の行程が確認できれば，生徒への指示や説明のしかたを工夫する必要がある。

古典的な記憶研究の論文に George Miller (1957, Baddeley & Hitch, 1974 に引用) の “The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information” というのがある。この論文の主旨は 1 回で覚えられる桁数は 5 桁から 9 桁までだということである。従来の電話番号や暗唱番号はこの範囲内に納められ，人間の短期記憶容量と一致していたが，5 桁を超えるようなパスワード等は短期記憶容量をはるかに超えているのが多く，日常生活にとってあまりは効率がよくないことである。

以上の実験を考察してみると，情報を保持するためには心の中で繰り返す（内言）という作業が必要である。この繰り返し（リハーサル）は情報が脳内に留まるために非常に重要である。

もう一つの実験を紹介しよう。Conrad (1964, Baddeley & Hitch, 1974 に引用) はアルファベットの “V, B, C, P, N, X” を視覚的に提示した後，再生する実験を行った。その結果，実験参加者は “V” を音韻的に似ている “B” あるいは “C, P” と誤答する傾向にあることが分かった。それは何を意味するのか。“V” を視覚的に記憶するのではなく，音韻化して記憶していたということである。そのため音韻的に似ているアルファベットと混同したのである。

これまでの実験から短期記憶の特徴をまとめると，一つは新しい情報（つまり見聞きしたばかりの情報）であり，残留時間は数秒である。もう一つは，視覚的な文字情報は音韻化されるということである。リーディング活動はこの音

韻化という過程を経て行われるということが分かってきている。リーディングのメカニズムについては後ほど述べることにする。

この短期記憶の概念は Atokinson & Shiffrin(1968) が提唱した二重貯蔵庫モデルに基づいている。二重貯蔵庫モデルは音声や文字情報が感覚貯蔵庫に入力され，それから短期記憶（貯蔵庫）に送られる。その段階で多くの情報が取捨選択される。さらにリハーサル機能によって短期記憶に留まり，意味処理がなされて長期記憶に送られる。

1.2 長期記憶

二重貯蔵庫モデルでは長期記憶は過去に経験した出来事や学習した知識や生活様式が短期記憶を経て記憶されたものである。短期記憶は日々の認知活動において常に新しい情報と関わり，情報が数秒しか残らないため，動的な記憶と言われている。一方，長期記憶は情報がいったん書き込まれたら半永久的にそこに留まるので，静的な記憶と言われている。短期記憶は意識的な行動様式であるが，長期記憶は自動的，無意識な行動様式である。

Gathercole & Alloway (2008：14-17) は，長期記憶をエピソード記憶，自分史記憶，意味記憶，手続き記憶の４つに分類している。エピソード記憶は，今朝食べた朝食や車を止めた場所等のように数時間前に起きた出来事や，来週の日曜日に友達と映画を見に行く等の近未来の出来事を記憶していることである。それは日々の生活における同じような出来事であり，時間が立てば忘れ去られる。しかしその中で強く印象に残るような出来事はその後，自分史記憶にファイルされ，半永久的に記憶される。自分史記憶には自分の名前，家族のこと，通った小学校や友人のこと，学位を取得した日のこと等，自分の歴史や経歴が年代順に書き込まれている。意味記憶には，これまで獲得した知識，ことばや語彙の意味等，知的活動の下地になることがファイルされている。特に重要なのは，単語に関する膨大な情報が心的辞書 (mental lexicon) [2] に書き込まれていることである。私たちは，聞く，話す，読む，書く等の言語活動を心的辞書にアクセスすることによって，行っている。手続き記憶は人間が生きていくための基本的な技能である。料理の作り方，車の運転やパワーポイントの作

成等の高度な技術から毎日の食事をする時の箸の持ち方や出かける前の洗顔から服を着る等の基本的な生活の手順まですべてを含む。人間の生存に一番必要な基本的な記憶ということになる。

この節では短期記憶と長期記憶という２つの記憶について概観したが，次に短期記憶の概念を取込み，ワーキングメモリ理論に進化した新たな理論の枠組みについて解説する。

2. ワーキングメモリ

Atokinson & Shiffrin は二重貯蔵庫モデルの短期記憶には一時的記憶だけではなく，複雑な処理機能を備えたワーキングメモリと同等の機能があると主張していた。しかしながらこの主張は短期記憶に障害のある患者が普通に仕事をこなすことから，疑問が提起された。もし短期記憶がワーキングメモリと同じ機能をするのであれば，短期記憶に障害のある患者は複雑な課題はこなせないからである (Shallice & Warrington, 1970, Baddeley, 2003 に引用)。Baddeley & Hitch (1974) は単一のシステム（一時的記憶）である短期記憶の概念に置き換わる新しい概念，ワーキングメモリを失語症患者や健常な被験者に行った実験により構築していった。

Baddeley & Hitch (1974) は健常な被験者が９桁までの数を覚えながらワーキングメモリが関わる課題[3]をこなす実験を行った。その結果，桁数が増えるにつれ，ワーキングメモリの課題の成績が悪くなった。その他，多くの実験によって二重貯蔵モデルの一時的な保持のみを司っている短期記憶の概念は修正され，３つのシステムからなるワーキングメモリモデルが提案された。ワーキングメモリは一時的な保持と保持された情報の処理を司り，長期的学習に繋がるための記憶システムである。ワーキングメモリは２つの従属システムと中枢の機能を司る記憶システムからなる。一つ目のシステムが音韻ループ (the phonological loop) と呼ばれ，短期記憶の概念を含むものである。二つ目のシステムは視覚的・空間的情報を保持，処理する視空間スケッチパット (the visuospatial sketchpad) と呼ばれている。これらの従属システムを制御するシ

ステムが中央実行系 (the central executive) と呼ばれている。中央実行系は入力された情報を二つの従属システムに割り振ったり，さらに長期記憶の情報を取り出して外界から入ってきたばかりの新しい情報と統合して作業をしたりするところである。したがってワーキングメモリにおいて一番重要な役割を担っている（Baddeley, 2003; 脳のメモ帳ワーキングメモリ，2002)。さらにBaddeley のワーキングメモリモデルにおいては 2000 年にエピソード・バッファー (the episodic buffer) のシステムが新たに提案された (Baddeley, 2000)。次節では，ワーキングメモリの従属システムである音韻ループの機能について詳しくみてみる。音韻ループは言語情報の保持に関わる重要なシステムである。

2.1　音韻ループ

音韻ループは図 2（Eysenck & Keane, 1995: 131）のように 2 つの構成要素，一時的保持を司る音韻短期記憶(phonological store) と構音コントロール過程[4] (articulatroy control process) からなる。音韻短期記憶は音声情報を直接受け入れるが，情報を長く保持するためには構音コントロール過程においてリハーサルが必要になる。情報が文字のような視覚情報の場合は，まず音韻コントロール過程において音韻に変換するというプロセスが必要である。

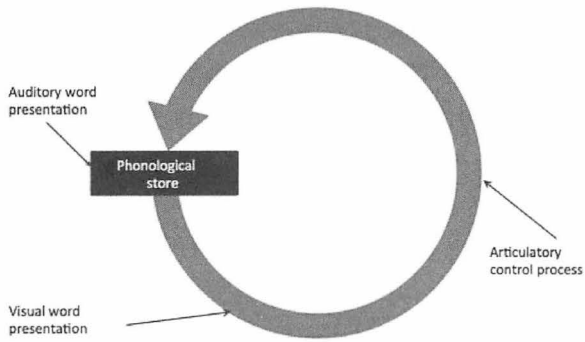

図 2　(Eysenck & Keane の音韻ループ図に基づいて作成)

音韻化は Conrad や Baddeley の実験によって文字情報が音韻化されるこ

とが証明され，分かったことである。Baddeley の一連の実験では音韻的に似ている語彙 (man, cat, map, cab, can) とそうでない語彙 (pit, day, cow, sup, pen) のリストを視覚的に呈示し，実験参加者が記憶，再生した。再生成績は視覚的に呈示したにもかかわらず，音韻的に似ている語彙の再生率は 20％以下で，似ていない場合は 80％以上であった。この現象を音韻的類似性効果と呼んでいる。したがって文字情報は構音コントロール過程において音韻化されるということが証明された。

リハーサルして保持をするという状況は，一音節の語彙リストの再生率が 90％に対し，‘opportunity, international, auditorium’ のような 5 音節の語彙リストの再生率が 50％の Baddeley et al. (1975) の実験結果からも分かる。これは語彙が長いと音韻ループ内での内言（リハーサル）に時間がかかり，非常に限られた時間しか保持ができない短期記憶の容量を超えてしまうことに他ならない。この現象は語長効果と呼ばれている。英語で vegetables を veges に，refrigerator を frige に短縮し，日本語でパーソナルコンピュータをパソコンに，インターネットをネットに短縮するのは，語長効果を避ける人間の知恵と言えよう。

短期記憶に障害を持つ被験者の PV [5] は複雑な文を除けば，ことばの再生や理解に問題はないが，外国語の語彙の習得はかなり難しいことが分かった。言語に特化した障害を持っている子供たちの研究においても音韻ループの音韻短期記憶が母語習得に重要な役割を担っていることが報告されている。

2.2 音韻ループの発達

外言は話しをしたり，声を出してことばを発することで，内言 (subvocalization, inner speech) は黙読をしたり，考えごとをしている時に現れることばである（酒井，2002; Hitch et al. 1991）。典型的な内言は考えごとをしている時である。日頃はあまり意識しないであろうが，注意を向けてみよう。心の中で自分に話しかけているのが分かるであろう。これが内言である。読書をしている時は声を出さないが，理解するためには一時的な保持が必要になる。短期記憶に保持されるためには構音コントロール過程における音韻化が

必要になると言う訳である。したがって読書は内言をしながら読解をしていることになる。

文字を習得する場合，内言も同時に習得するのであろうか。Hitch ら（1991）のおもしろい実験をのぞいてみよう。

実験では英語圏の 4 歳から 10 歳までの児童に 3 種類の絵のセットを見せた。最初は“rat, cat, mat”のような音韻的に似ている絵カードを見せ，次に“doll, bath, spoon”のような音韻的に似ていない絵カードを見せた。最後に“elephant, piano, policeman”のような 3 音節の絵カードを見せた。その結果，7 歳以下の年少の児童の再生成績には音韻的に似ている絵の語彙や 3 音節の絵の語彙に差はなく，音韻的類似性効果も語長効果も現れなかった。一方，7 歳以上の年長の児童は音韻的に似ていない絵の語彙の再生成績が一番よく，成人のように音韻的類似性効果も語長効果も現れた。また Hitch ら (1988) は 5 歳と 10 歳の児童に“bat, key, spade, fork, pen”等の細長い絵カードと 3 音節の語彙の絵カードと音韻的に似ていない 1 音節の語彙の絵カードをそれぞれ見せて実験を行った。その結果，5 歳の児童の再生成績は細長い絵の語彙が一番悪く，10 歳の児童は 3 音節の絵の語彙の成績が一番悪かった。

前述の実験について考えてみよう。最初の実験は，7 歳以下の児童は語彙を覚えるために音声リハーサルをしていないことが分かる。そのため音韻的類似性の影響を受けていないことになる。二番目の実験では，年少の児童は絵をそのまま視覚的に記憶したために細長い絵が似たもの同士で干渉を起こしてしまい再生成績が悪くなってしまったのである。この実験を考察してみると，7 歳前後に音韻ループのリハーサル機構は発達し始め，内言を獲得するということが言えそうである。7 歳というとちょうど小学校に入学し，文字を読んだり，書いたりする学習が始まる時期である。その頃の国語の時間には教室での朗読（外言）練習が普通に行われる。ことばの正しい音声を，音読をとおして獲得して始めて，正しい黙読ができる。Gathercole & Baddeley (1993: 31) は Hitch らの研究を次のように要約している。

> “At around this time, the child becomes proficient at silent reading: that is, in translating orthographic information into a linguistic form

that is not explicitly articulated."

正しい黙読ができるということは文字情報の音韻化の獲得に他ならない。これは外国語習得にも言えるのではないだろうか。

2.3 第二言語習得と音韻ループ

音韻的類似性効果と語長効果が音韻ループの短期記憶は音韻から構成されていることを実証した。さらにPVの研究から未知語の学習に音韻短期記憶が関わっていることが分かった。これらの研究が音韻ループは母語習得のみならず外国語習得にも関わっていることを語っている。Ellis & Sinclair (1996) は言語を「音韻情報，音節構造，語彙，節，collocation 等の一連の繋がりである」と定義している。したがって言語習得はこの繋がりを順序よく習得していくことに他ならないし，音韻ワーキングメモリ（音韻ループ）の構造もそれらの要素の連なりを習得するのに都合よくできあがっている。

Ellis & Sinclair は，語彙習得は未知語を正しくリピートできるかで予測できるとし，次のような実験を行った。18 歳から 40 歳（平均 21 歳）を 3 グループに別け，1 グループには外国語（ウェールズ語）の発話文を理解させながら反復練習をさせ，2 グループには反復練習をさせず，発話文の理解のみをさせた。そして，3 グループには反復練習を妨害するような構音抑制を課して，発話文の理解をさせた。その結果、反復練習を課したグループは外国語の語彙習得，文法規則の習得，正確な発音の習得にかなりいい成績を残した。このように未知語をリピートすることによって語彙習得能力が予測できるという研究が盛んになった。その中から未知語の音素配列をコントロールした実験を紹介しよう。

Gathercole (1995) は未知語を 2 種類に分類し 70 名の英語圏の子供たちを対象に 4 歳の時と 1 年後の 5 歳の時に実験を行った。1 種類の未知語は "Hampent, Thickery, Defermication" 等の英語に近い音素配列にし，もう 1 種類は "Perplisteronk, Skiticult, Tafflest" 等の英語とは異なった音素配列にした。実験の目的は，音韻ループを測定する課題の得点と語彙力，単語を読み

上げる能力との間に相関があるかどうかを調べることである。音韻ループ測定課題は①未知語反復と②記憶課題である。②記憶課題には，数唱課題と単語のリピート課題がある。数唱課題は，例えば数字，３，５，８と実験者が読み上げた直後に被験者がリピートする課題である。３桁ができたら，４，１，９，７と桁数を増やしていき，リピートできなくなる桁数まで続ける。４桁が完全に復唱でき，５桁が不完全だと，その被験者の数唱課題の得点は４点ということになる。①は４歳と５歳の時に２種類の未知語を実験者の後をつけてリピートし，語数を増やしていき，正しくリピートできた語数が得点になる。②は４歳の時には，数唱課題を，５歳の時には，数唱課題，および１音節語と３音節語のリピート課題を課した。１音節語のリピートは例えば“bed, cat”の２語を実験者の後をつけてリピートができるか，それができたら，３語また４語と語数を増やして，リピートを課すという課題である。３音節語も同じ手順で行った。③は４歳と５歳の時に絵を見せ，名称を尋ねた。④は５歳の時に単語（名詞）が書かれたカードを読みあげる課題を課した。その結果，①は英語的な未知語をリピートする方が非英語的な未知語より良い成績になった。それは長期記憶にある既習語が支援した結果，再生率が良いと言うことが考えられる。したがって語彙が豊富な児童ほどリピートする能力が高いと言うことになる。一方，②の記憶課題では，記憶課題の得点と非英語的な未知語のリピート能力との相関が英語的未知語のリピート能力の相関より高かった。また１年後の５歳の時の語彙知識と比較した結果，非英語的な未知語と語彙知識との相関が高く，語彙習得を予測することが分かった。非英語的な未知語の場合は被験者の長期記憶には貯蔵されていないため，長期記憶のサポートを得ることができない。したがって音韻ループのみの容量を測定するには，非英語的な未知語の方が適切であると言える。Gathercole の実験において，非英語的な未知語と語彙知識との相関が高いという結果になった。それは音韻ループが語彙習得に重要な役割を担っていることを示唆していると考えられる。④については，音韻ループは初期（４歳時）の語彙の読みに貢献するという結果が得られている。

この一連の実験は，語彙の豊富な児童の方が更なる語彙習得に有利であるという理論への反論にもなった。また未知語を使用した実験でも長期記憶の支援

を断ち切り，音韻ループのみの機能を測定するためには，その言語の音素配列まで配慮した未知語を使用する必要があるということが明らかになった。

これらの実験から音韻ループを効率よく使うことが初期の語彙習得および外国語の語彙習得を促進するし，初級の外国語習得には音韻ループが大きく貢献していることが分かる。むしろ音韻ループを効率よく機能させる事なしには初級の外国語学習はあり得ないと考えた方がいいのかもしれない。

2.4 視空間スケッチパッド

非言語情報である視覚的イメージや空間的情報を一時的に保持し，処理するワーキングメモリのもう一つの従属システムが視空間スケッチパッド (visuospatial sketchpad) である。このシステムは言語的情報を保持する音韻ループの機能と異なり，視覚器官に入ってくる平面的，立体的画像をそのまま取組むワーキングメモリの従属システムと考えられている。言語を司る左脳に位置づけられている音韻ループに対し，非言語を司る右脳に位置づけられている。入力された情報は言語的なものと非言語的なものに分けられ，それぞれの従属システムにおいて保持されている。この２つの従属システムがそれぞれ独立したシステムであると証明するために以下の状況を考えてみよう。

例えばこういう経験はないだろうか。職場の会議や友人との不愉快な会話等は忘れたいにもかかわらず，いつまでも頭の中に残り，何度も繰り返し思い出してしまう。気分転換に音楽を聞いて忘れてしまおうと思ってもあまり効果はない。電車の中でたまたま隣の席に座っている人たちが何やら面白い話しをしていて，つい聞き入ってしまい，今までのいやな気分がはれたという経験をしたことはないだろうか。この謎を解くために次の実験を紹介しよう。

最初の課題は視空間スケッチパッドに依存する課題，例えば人の顔，風景，建物，動物，スポーツ等の絵カードを見ながら，同時に数唱課題をこなし，見た絵を見た順に，桁数を聞いた順に再生する。2 番目の課題は数唱課題をこなしながら，例えば 100 から 3 を引いていく課題をこなし，最初の課題と同じように再生する。この２つの課題の成績を比較すると最初の課題の方が桁数を正確に再生できたという結果が得られている (Baddeley & Hitch, 1974)。この

実験から不愉快な会話を頭から消し去るためには，音韻ループで保持されている情報（不愉快な会話）と新しい言語情報（他人の話）を入れ代えることによって古い情報を消し去ることである。また視空間スケッチパッドに保存された情報を消すためには，視覚的･空間的情報を入力し，お互いに干渉することによって，情報を消し去る必要がある。この実験の続きを桂文枝の落語（干渉課題として）を聞きながら，未知語の反復課題を試してみてはどうだろうか。

このように視空間スケッチパッドは視覚的，空間的情報を処理する記憶システムであるが，言語習得とまったく関わりないかというと，そうでもないという研究が空間的な位置関係の理解に障害のあるウィリアムズ症候群の児童の研究から分かってきた。英語圏のウィリアムズ症候群の子供たちは“above, below, in”等の空間を表す用語が文に含まれると文理解が極端に悪くなるという報告がある（Hitch et al., 1988）。私たちは“above”と言われるとその状況をイメージして理解している。そのため視空間スケッチパッドにおける処理が必要になるからであろう。

2.5　中央実行系と個人差

中央実行系は入力された情報を２つの従属システムに割り振ったり，さらに長期記憶の情報を取り出して外界から入ってきたばかりの新しい情報を統合して高次の認知活動である「計画・思考・推測・判断」の作業を限られた時間内に処理するところである。したがってワーキングメモリにおいて一番重要な役割を担っている。そのため研究者によっては，中央実行系そのものをワーキングメモリと呼んでいる場合もある（Gathercole, 2008）。ワーキングメモリ内における中央実行系の機能は，処理速度が速いか遅いかによって短期記憶の容量に影響を与え，ワーキングメモリ全体の活動を決定する役割も担っている。Case ら（1982, Gathercole, 1998 に引用）は数字を数える速さと桁数を記憶する課題において相関があるとの報告をしている。子供の成長に伴って処理が速くなり，消耗する処理資源が少なくて済むため余った資源を記憶容量に回すことができるという考え方をしている。ワーキングメモリの限られた資源（限られた処理時間）が効率性を求める原動力になっている。

Just & Carpenter (1992) は，この限られた資源の効率性によって保持と処理に資源を分配する割合が変わるという。この関係を“trade-off”と呼んだ。前述の知性の発達と共に処理に費やす時間が減ると保持に多く容量を使うことができるようになる。この関係を利用してワーキングメモリの効率性を測定する課題として考案されたのがリーディングスパンテスト (RST) である (Daneman & Carpenter, 1980)。RST は情報処理と保持を同時に課した課題であり，文を理解し最後の単語を覚える課題である。処理と保持の割合は個人により異なり，それが個人差となって表れる。したがって RST は中央実行系の機能の個人差の測定にもなる。

次に RST の日本語版を見てみよう。日本語の３文条件の場合は，次のようになる (苧阪 , 2002: 55)。日本語の場合は英語と文構造が異なるため，必ずしも最後の単語が記憶の対象にはなっていない。下線を引いた単語が記憶する対象になる。

母親は，封筒の名前を初めて見たときひどく<u>びっくりした</u>。
人間は氷期と間氷期を何度も経て，ゆっくりと<u>進歩</u>してきた。
その技術のレベルはしろうとの域を<u>はるかに</u>超えている。

文は１文ずつ提示し，声を出して読み，下線が引かれた単語を覚えるように指示する。それができれば２文，３文へと進む。２文条件で下線の２つの単語を記憶していれば２点とする。３文条件をクリアできれば，３点とする。大学生の平均点は約 3.0 点だと報告されている（苧阪，2002）。高次の認知活動として考えられている読解と RST には相関関係が見られる（$r(18)=.72$, $p<.01$, Daneman & Carpenter, 1980: 455）。したがってワーキングメモリにおいてリーディング活動が処理され，重要な部分やあらすじ等が長期記憶に保存される。ワーキングメモリのもう一つの測定方法に逆唱課題がある。これは実験者が提示した数字（２桁から提示）を逆順に再生するものである。逆唱はワーキングメモリの保持と処理を同時に測定する方法として読解力がまだ発達していない児童のワーキングメモリを測定するために有効な課題である。

2.6　エピソード・バッファー

Baddeley(2000) は４番目のシステムとしてエピソード・バッファーを提案した。このシステムでは，情報を聴覚的，視覚的と区別することなく一時的情報保持が可能である。したがって音韻ループと視空間スケッチパッドの情報を同時に保持し，長期記憶と統合する機能を担っていると考えられている。

エピソード・バッファーは構音抑制効果に関わる実験と音韻短期記憶に障害のある患者に行った実験から問題提起された結果，追加された概念である。構音抑制とは記憶課題遂行中に“the”あるいは“hiya”のような雑音を唱え，心的リハーサル（音韻化）ができない状態を作りだす実験である。

一つは構音抑制をしながら健常者が視覚的に提示された数字を再生するという実験である。この実験では，構音コンロトール過程のリハーサル機構が構音抑制によって妨害されることになっているが，実際の結果は，７桁の数字再生（構音抑制なしの場合）が構音抑制によって５桁に下がるものの有意な差ではないということである。もう一つは聴覚 (auditory) 記憶が１桁の音韻短期記憶に障害のある患者に行った実験である。この実験では視覚提示した場合，患者の数字再生が４桁に上がった。この一連の実験結果を視空間スケッチパッドのサポートによるものではないかと，Phillips と Logie ら（Baddele, 2000, p. 417 に引用）は，説明を試みたが，視空間スケッチパッドは連続的なつながりを貯蔵する記憶庫ではないという結論に達し，視覚的な情報や音韻的な情報を統合するような新たな‘back-up store’(Baddeley, 2000, p. 419) としてエピソード・バッファーが提案された。図３が Baddeley の最新のワーキングメモリモデル図である。

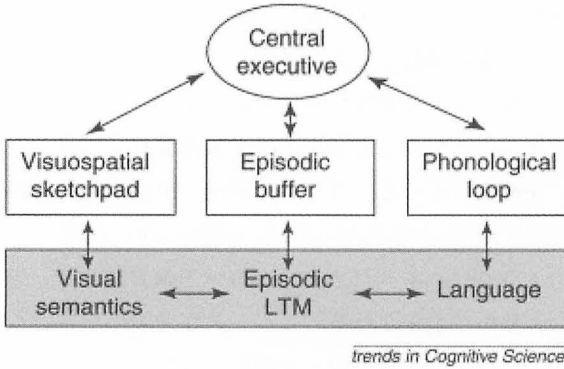

図3 (pp. 421)

構音抑制によるもう一つの実験を紹介しよう (Gathercole & Baddeley, 1993)。構音コントロール過程での文字言語の音韻化のために語長効果があるが，構音抑制により語長効果の消失現象が起きた。これは視覚提示単語の長さに関係なく，再生率は変わらないという現象である。語長効果の消失現象は，妨害により単語の音韻化ができなくなり，音韻ループ以外の記憶に頼ったために起きた可能性があると言われているが，これはまさにエピソード・バッファーの概念で説明できそうである。しかしながらエピソード・バッファーに関する実験研究は始まったばかりで，まだまだ未知の部分が多いシステムである。

次節からはワーキングメモリと読みや学習との関係，脳におけるワーキングメモリの所在，ワーキングメモリに関連した応用研究についてみていく。

3. ワーキングメモリと読みのメカニズム

読みの作業は限られた時間内で保持と処理を同時に遂行するワーキングメモリの複雑な過程を経ているために，高次の認知活動と言われている。言語情報は聴覚的な情報と視覚的な情報に分けられるが，文字情報を媒介とする読みは，聴覚情報の話しことばとは異なる音韻化という作業が必要となってくる (2.1 節参照)。日頃私たちが読書をする時，声を出さずに黙読をするが，文字

を覚えたての子供たちが絵本を読む時，声を出しながら読んでいるのをよく見かけることがある。黙読と音読の違いはあっても音韻化という行為は同じである。黙読は内言（心的リハーサル）により音韻ループの構音コントロール過程を介して音韻化がなされている。したがって文字情報は音韻化されて音韻ループの音韻短期記憶に一時的に保持されることになる。その後，中央実行系や長期記憶の支援の基に処理作業が行われると仮定される（森下，他，2000；Alloway et al., 2004）。このようにワーキングメモリにおいて確実に保持，処理されるためにはスムーズな音韻化が要求される。スムーズな音韻化が妨げられる障害に難読症がある。左脳の頭頂葉の縁上回が音韻化に関わっていると言われているが，縁上回の何らかの障害で音韻化ができずに，読みに支障をきたしている。

文字を正しく音韻化するための第一歩が音読である。子供が無意識に絵本等を，声を出して読んでいるように，国語の読み方を学習する小学校の低学年や，英語を学習し始める学年において，十分な音読練習をすることは黙読という読書方法につなげるための練習方法だと言える。

4. 脳科学から見たワーキングメモリ

ブロードマン（1909）は脳の外側面を機能別に分類し，番号をつけて脳図を完成している。

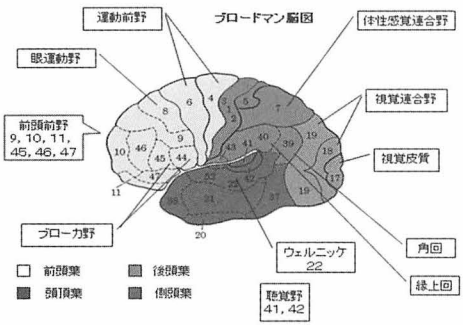

図４　ブロードマン大脳皮質地図

ワーキングメモリの音韻ループ，視空間スケッチパッド，中央実行系の脳における所在が脳科学の発達により解明されている。音韻ループの音韻短期記憶は左脳の頭頂葉の縁上回（40）あたりにあり，構音コントロール過程（リハーサル）は前頭葉のブローカ野（44）と運動前野（6）が関与していると言われている（Baddeley, 2000; 藤井，2000)。視空間スケッチパッドに関する実験によると，右脳の後頭葉の視覚野（19)，頭頂葉の縁上回（40)，前頭葉の運動前野（6）と下部前頭前野（47）が主に活発になるという（藤井，2000)。中央実行系は両脳の主に前頭葉に位置していると言われ，前頭葉に障害のある患者はこれから起こる行動計画や予測ができなくなり，自分の行動に対して判断力を失ってしまう高次脳機能障害に陥ってしまうと言われている（植村研一，1990)。中央実行系の機能は高次にわたっているため，脳のどの部分に所在するか特定するにはまだ至っていない。

5. ワーキングメモリと学習不振

ワーキングメモリの研究は学習障害児童や脳損傷患者を対象にした研究に負うところが大きい。未知の情報や未知の知識を学習，習得する時の作業場をワーキングメモリが直接的に担っているため，ワーキングメモリに障害や損傷があった場合，学習への支障が顕著に現れるからである。また最近の研究では学校教科の習熟度とワーキングメモリとに相関関係があると言われている。

ワーキングメモリの容量は，児童の国語や算数等の教科の修得に関係が深いという報告がある。Gathercole & Alloway (2008) はイギリスの6歳と7歳の児童のワーキングメモリの容量，短期記憶，国語（英語）と算数の関係を調査し，国語と算数の成績が平均以下の児童はワーキングメモリの容量は極端に少ないが，短期記憶は教科が平均の児童との間に差がないことが分かった。また13歳と14歳の児童のワーキングメモリと国語，数学，理科の調査では，ワーキングメモリの得点が平均以下の児童の数学と理科の成績が極端に低かった。これらの研究に基づき，Gathercole & Alloway は500人の児童を対象に数年後に教科の学習に支障をきたす可能性のある児童を予測するために，まず4歳

児のワーキングメモリを測定し，２年半後の６，７歳の時にリーディング，ライティング，算数の得点と比較した。その結果，ワーキングメモリの得点が平均以下の児童は３教科の得点が低く，特に算数に顕著であった。この一連の調査はワーキングメモリが義務教育を受ける児童の学習習熟度を予測できると結論づけた。ワーキングメモリの得点の低い児童がなぜ成績不振を引き起こすのだろうか。それはワーキングメモリの容量が非常に限られていることに起因している。スピーディーに，情報を処理することが要求されているが，成績不振の児童はワーキングメモリの容量が少ないため，情報を保持しながら処理する過程で情報を失い，処理までいかないと考えられている。または処理に時間がかかりすぎて容量を使いきってしまい，次々入ってくる情報が保持できないからであるとも考えられている。このように情報がワーキングメモリの容量以上になることを「負荷をかけすぎている」という。

ここでワーキングメモリの保持機能と処理機能では，どちらが重要であるかという疑問が生じてくる。Gathercole & Alloway (2008) の調査では，成績不振の児童の短期記憶は平均の児童とほぼ同じ得点であった。その点からみると，処理機能の効率化が求められることになる。ワーキングメモリの効率性を高めることはできるのであろうか。一つの方法として，負荷をかけすぎない学習方法を考える必要があるし，また効率性の一つである処理速度を高める練習をする必要があるであろう。

最終節では効率的な外国語学習を，応用研究をとおして考えていく。

6. 外国語学習への応用研究

母語習得や外国語習得の見地から，読みの習得や学習は遅い段階に位置づけられているが，語彙習得や音韻認識は言語習得の初期に見られるものであり，外国語習得においても早い時期に学習する項目である。ワーキングメモリと言語習得の関係は盛んに研究され，母語習得および第二言語習得の研究では，音韻ループは特に習得初期との関わりが顕著であることが報告されている。したがってここでは外国語学習者の初期のリスニングとリーディングの個人差と

ワーキングメモリがどう関わっているか，応用研究をとおして概観し，初級の外国語学習者におけるリスニングとリーディング，さらにこれからの研究について考える。

語彙習得や音韻認識は，言語習得の初期に関与している音韻ループにかなり依存していることを多くの研究者が指摘しているように（Alloway et al., 2004），初期の外国語学習においてはリスニングのみならずリーディングも音韻ループに依存していることが考えられる。苧阪＆苧阪（1994）は，日本語のリーディングスパンテスト（RST）の高得点者と低得点者の間ではエラーの種類が違うことを報告している。高得点者は意味的に類似した単語と取り違えるエラーが多く，低得点者は音韻的に類似した単語と取り違えることが分かった。さらに苧阪＆西崎（2000）の研究では，日本語版の RST とハンガリー語版の RST の両方を同じ日本人大学生を被験者として実験をした結果，日本語版では意味的エラーが多く，大学に入学後に学習を始めたハンガリー語の RST の場合は，音韻的エラーが多かったことを報告している。これらの研究はリーディングの初期の段階にいる学習者は音韻ループへの依存度が大きいことを示唆している。

音韻短期記憶を測定するテストとして順唱課題（forward digit span test, FDST）がよく使われる。Onaha（2004）は大学 1 年生のリスニングと英語 FDST には相関（r=.48, p<.001）が見られ，大学 1 年生のリスニング力を予測できると報告している。さらに小那覇（2006）はリスニングテキストの難易度によって音韻ループの関わり方が異なるのではないかと実験を行った。その結果，難易度の低いリスニングテキストと FDST には高い相関（r=.628, p<.01）が見られ，難易度の高いリスニングテキストと FDST の間にも低い相関（r=.469, p<.01）が見られた。これは音韻ループの音韻短期記憶への依存度がリスニング問題の難易度によって異なっていることが考えられるが，難易度の高いリスニング問題にも相関があることから，Onaha（2004）の大学 1 年生の結果に見られるように音韻短期記憶の容量によってリスニング力を予測できるということが改めて示唆された。

さらに私たちの日常生活では，常に何かを記憶するという作業を意識的，無

意識的に行っているにも関わらず，今日の学校教育では単純な記憶作業を「詰め込み」とか「創造力の欠如」等の理由で教室での学習活動から除外される傾向にある。高度な認知活動は短期記憶という土台があって遂行されるものであることを忘れてはならない。日々の学習活動の中で意識的に記憶作業を取入れることによって健全な短期記憶が構築できる。確固たる短期記憶の先にワーキングメモリがあり，高度な認知活動を支えている。

次に，時間が制約されているワーキングメモリに必要なのは，いかに速く処理することができるか，ということである。リスニングの場合は，流れているテキストをすばやく処理することが絶対条件であるが，リーディングに関しても制限時間内に処理しなければ，情報はワーキングメモリから消えてしまう。したがってリーディングにとっても処理速度が要になりそうである。リーディングは文字情報を音韻化して処理されることは，すでに述べたが，処理速度の中に音韻化の速度も含まれる。その読みのメカニズムの概念を踏まえて，Savage ら（2007）は，実験材料[6]の読み上げ速度によって，読み能力が予測できるという仮説をたてた。実験では実験材料を無作為に並べ，できるだけ速く読み上げることを７歳から１３歳の児童に指示した。その結果，読み上げ速度と読み能力には相関があることが分かった。

小那覇（2011）は Savage らの実験を踏襲し，英語専攻の大学１年生 24 名と中学３年生 20 名に対して次のような実験を行った。大学生のリーディングテストは市販の標準化されたテストを使い，中学生のリーディングテストは英検３級を使用している。大学生の場合は，数，アルファベット，語，それぞれの読み上げ速度と相関があった（Spearman のロー検定，r=.570, p<.01; r=.522, p<.01; r=653, p<.01）。中学生は読み上げ速度とリーディングには相関が見られなかった。大学１年生の場合は，処理速度がリーディング力には必要条件の一つであることが言えそうである。以上の研究結果から中級以上の英語学習者には，すばやくテキストを読むという練習，いわゆる速読練習が必要であることが示唆されている。初級の学習者は，まずじっくり読んで理解することが，速読練習以前に必要ではないだろうか。

7. おわりに

記憶研究の歴史は，記憶には２種類の記憶，すなわち短期記憶と長期記憶が存在するという画期的な発見をし，さらに研究者の英知が結集し，進化し，ワーキングメモリという理論の構築を見た。ワーキングメモリは中央実行系を中心にすえ，音韻ループ，視空間スケッチパッドという従属システムを従えている。さらに最近の研究により，エピソード・バッファーという概念が追加された。エピソード・バッファーは音韻ループと視空間スケッチパッドの情報を同時に保持し，長期記憶と統合する機能を担っている。

ワーキングメモリが言語習得，外国語等の英語や日本語習得の中心になって働き，高度な認知能力を備えた人間が生まれた。また一方では，ワーキングメモリの欠陥，あるいは障害によってワーキングメモリを十分に活用できず，学習不振や言語障害をもたらす場合もある。ワーキングメモリの機能を精査，分析することによって障害が克服できる手立てを提供する必要がある。

注

1　図１は二木（１９８３）を参考にしたが，筆者が数回行った実験では，新近効果が初頭効果ほど成績は良くなかったので，図１の図になった。

2　心的辞書（メンタルレキシコン）とは脳内に備わっている「辞書」のことをいう。ことばの理解や産出の過程において必要な語の形や音や意味等の語彙情報が検索できる辞書の役割を担っている心的辞書が長期記憶にあると考えられている（門田，2003　参照)。それは辞書や電子辞書のように具体的な語彙が書き込まれているのではなく，抽象的に記号化され，人がことばを紡ぎ出す過程で，それぞれ具体的な言語となるが，ことばをどのように検索するかということについては様々な解釈がある。

3　“A is not preceded by B”（A は B に先行する）という文に対し，答えが AB とあった場合は，True という解答をするような問題である。

4　日本語訳は斉藤智（1997）『音韻的作動記憶に関する研究』 風間書房を参照した。

5　PV はイタリア人女性で脳卒中を患い，話しことばや書きことばに問題はなく，日常生活にも支障はなかったが，聴覚的に呈示した語彙の再生にはかなり成績が悪く，音韻短期記憶に重い障害を負った結果であることが Baddeley らの研究で分かった。

6　実験材料は数字，アルファベット，椅子や魚等の絵を使用している。

謝辞

本稿を執筆するにあたり，初期の段階で貴重なコメントをいただいた名古屋大学名誉教授，大曾美恵子氏に記して感謝を申し上げる。

引用文献

植村研一　（1990）「脳神経外科と言語障害」 医療言語聴覚士資格制度推進協議会講習会実務委員会（編）『言語聴覚療法の医学的基礎』 協同医書出版社

苧坂満里子　（2002）『脳のメモ帳ワーキングメモリ』 新曜社

苧阪満里子，苧阪直行（1994）「読みとワーキングメモリ容量：リーディングスパンテストによる検討」『心理学研究　６５』pp. 330-345

苧阪満里子，西崎友規子　（2000）「ワーキングメモリの中央実行系での処理の特性」 苧阪直行（編著）『脳とワーキングメモリ』 京都大学学術出版会

小那覇洋子　（2006）「リスニングと音韻ループとの関わりをめぐって－記憶研究からのアプローチ」 沖縄英語教育学会紀要　第６号 pp. 95-110

小那覇洋子　（2011）「ワーキングメモリの容量と読み速度－多読が貢献できるか」 第３７回全国英語教育学会（山形大学に於いて発表）

門田修平（編著）（2003）『英語のメンタルレキシコン』 松柏社

御領謙・菊地正・江草浩幸（1993）『認知心理学への招待』 サイエンス社

斉藤智　（1997）『音韻的作動記憶に関する研究』 風間書房

酒井邦嘉　（2002）『言語の脳科学』 中公新書

二木宏明 (1983) 「VI 記憶のしくみ」pp. 123-149『脳と心』 東京大学出版会

藤井俊勝 (2000) 「ワンキングメモリの神経基盤」苧阪直行(編著)『脳とワーキングメモリ』 京都大学学術出版会

森下正修, 近藤洋史, 苧阪直行 (2000) 「リーディングスパンテストにおける処理と保持」 苧阪直行 (編著)『脳とワーキングメモリ』 京都大学学術出版会

斧谷彌守一 (1995) 『言葉の現在ーハイデガー言語論の視覚』 筑摩書房

Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Wills, C. and Adams, A-M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology, 87*, 85-106.

Atkinson, R. C. and Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In *The Psychology of Learning and Motivation: Advances in Research and Theory. Vol. 2*, pp. 89-195. New York: Academic.

Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 417-423.

Baddeley, A. D. (2003). Working memory and language: an overview. *Journal of Communication Disorders, 36*, 189-208.

Baddeley, A. D. and Hitch, G. (1974). Working memory. In G. A. Bower (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*. pp.47-89. New York: Academic Press.

Baddeley, A. D., Thomson, N. and Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 14*, 575-589.

Daneman, M. and Carpenter, P. A.(1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 19*, 450-466.

Ellis, N. C. and 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 (1),* 234-250.

Eysenck, M. W. & Keane, M. (1995). *Cognitive Psychology:A Student's Handbook.* Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Gathercole, S. E. (1995). Is nonword repetition test of phonological memory or long-term knowledge? It all depends on the nonwords. *Memory and Cognition, 23,* 83-94.

Gathercole, S. E. (1998). The development of memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry. 39,* 1, 3-27.

Gathercole, S. E. and Baddeley, A. D. (1993). *Working Memory and Language.* Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers.

Gathercole, S. E. and Alloway, T. P. (2008). *Working Memory and Learning: A Practical Guide for Teachers.* London: SAGE.

Hitch, G. J., Halliday, S. M., Schaafstal, A. M. and Heffernan, T. M. (1991). Speech, "inner speech," and the development of short-term memory: effects of picture-labeling on recall. *Journal of Experimental Child Psychology, 51,* 220-234.

Hitch, G. J., Halliday, S. M., Schaafstal, A. M. and Schraaen, J. M. C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory and Cognition, 16,* 120-132.

Just, M. A. and Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory or comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review, 99,* 122-149.

Onaha, H. (2004). Effect of shadowing and dictation on listening comprehension ability of Japanese EFL learners based on the theory of working memory. *JACET Bulletin, 39,* 137-148.

Savage, R., Pillay, V. and Melidona, S. (2007). Deconstructing rapid automatized naming: Component processed and the prediction of reading difficulties. *Learning and Individual Differences 17,* 129-146.

Abstract

How Human Memory and Working Memory Work in Second Language Acquisition

Onaha, Hiroko

We often draw an analogy between human memory and computers. Information around us is taken into our memory storage first, and then we use the information in storage whatever we need it in our daily life. Linguistic information is also in storage and we process our thoughts based on the memory that is stored. Memory storage consists of multiple memory systems; one of which is called working memory that includes short-term memory. Working memory is the central system that underpins the process of new information and old information. There is a storage area for verbal information and a storage area for visual information in the working memory system that is capable of holding information for only a few seconds. In order for the information to be retained, it has to be rehearsed in the working memory system and that will create a path towards long-term memory. Long-term memory is believed to have capacities of storing vast amounts of information for long periods of time, supposedly as long as one's life time.

The study describes roles of human memory and working memory and how these memory systems are related to language acquisition. It is also focused on how working memory is related to second language acquisition.