HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	ワーキングメモリと注意 ： ERPを用いた検討
Author(s)	土田, 幸男
Citation	北海道大学大学院教育学研究院紀要, 124, 65-80
Issue Date	2016-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/b.edu.124.65
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61001
Type	departmental bulletin paper
File Information	AA12219452_124 (8).pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

ワーキングメモリと注意

－ERPを用いた検討－

土　田　幸　男*

【要旨】「何かをするために使われる記憶」であるワーキングメモリには，制限された容量が存在する。本論文では，注意制御機能としてのワーキングメモリ容量の具体的な機能は何なのか検証した。また，この機能が日常場面にどのように関わるのか，マインドワンダリングという観点から考察し，事象関連電位を用いた研究から，ワーキングメモリ容量の個人差とマインドワンダリングに関連した事象関連電位成分を検証した。ワーキングメモリ容量低群ほど，マインドワンダリングが生じることで事象関連電位の振幅が減衰した可能性を示唆した。最後に，ワーキングメモリ容量と注意の関係を踏まえた教育的場面への応用について論じ，今後の研究可能性を考察した。

【キーワード】ワーキングメモリ容量，個人差，注意，事象関連脳電位（ERP），マインドワンダリング

１．ワーキングメモリモデル

ワーキングメモリ（working memory: WM）はBaddeley & Hitch（1974）が提唱した短期的な記憶モデルである。WMの特徴として，短期間の記憶維持というだけでなく，より動的で目標指向的，すなわち「何かをするために使われる記憶」という特徴がある。Baddeley & HitchによるWMは３つのコンポーネントで構成されている（Figure 1）。音韻ループは聴覚的な情報の維持や操作，視空間スケッチパッドは視空間的な情報の維持や操作をそれぞれ担当し，中央実行系はそれら２つの下位コンポーネントを統括する監督的な役割を担っていると考えられている。Baddeleyが提唱するWMモデルは，その後エピソードバッファという新しいコンポーネントが追加され，長期記憶との繋がりが重視されている（Baddeley, 2000; Baddeley, Allen, & Hitch, 2011）。本稿ではWMの中でも中央実行系と注意機能について焦点を当てるため，取り上げるモデルは基本的なBaddeley & Hitchのものに基づいて検討する。

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

* 琉球大学大学院医学研究科脳神経外科学講座　特命助教
DOI：10.14943/b.edu.124.65

2．WM容量

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

2－1．WM容量と高次認知機能

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

2－2．WMと注意

WM容量と関係が見られる高次認知課題は，いずれも記憶と密接に関わっている課題である。このため，両者の関係は記憶容量の影響として説明可能である。しかし近年では，余り記憶が関わっていない，より広範的な場面においてWM容量が影響を与えている可能性が指摘されている。このことから，中央実行系は注意制御機能として領域一般的に作用するという考えが提唱されてきた（Baddeley, 1993; Engle, Kane, & Tuholski, 1999; Oberauer et al., 2007）。特にEngle et al. は複雑スパンテストで測定されるWM容量はBaddeleyのモデルにおける中央実行系の容量制限のある注意メカニズムの能力であり，干渉や妨害に直面したときの注意の維持，制御のための容量であると提案している。すなわち，このWM容量は記憶や貯蔵それ自体ではないと考えられ，Baddeley自身が述べているようにWorking Attentionとでも言うべきものであると考えられる。

2－3．WM容量が反映するもの

WM容量が注意制御機能を反映しているとはどういうことなのか。そもそも短期記憶容量とは古典的には7±2の範囲であると考えられてきた（Miller, 1956）。無意味な数字などの短期記憶の容量は制限があり，その範囲は7±2程度に過ぎないというものである。これはマジカルナンバーとして広く知られている。近年の研究では，リハーサルの影響を除いた純粋な記憶容量は4±1程度に過ぎないと報告されている（Cowan, 2001）。この4±1という記憶容量は，リーディングスパンテストなどの二重課題などを行いながら保持できる情報量とも一致することが指摘されている（苧阪, 2012）。リーディングスパンテストでは覚えるべきターゲット語以外にも文章が存在する。この文章はターゲット語を覚える時に妨害となりうる課題非関連情報である。リーディングスパンテストで高成績を収めるには，この課題非関連情報をいか

に防ぐかが重要となる。本来人間は 4 ± 1 は記憶することができるが，WM容量が低い者では 2 つ程度となってしまう。これは課題遂行中に課題非関連情報などの妨害を防ぐことができないためであると考えられるわけである。

このように，WM容量は中央実行系の注意機能を反映している。この注意機能とは，妨害や干渉が多い状況においても情報を維持あるいは検索し，適切な調節を行う能力である。すなわち，困難な状況においても目標維持（goal maintenance）を行うことがWM容量に反映される注意機能である。これは記憶ではあるが，短期記憶のようにリハーサルを行いながら数字を何桁覚えられるかといった記憶とは異なると言えるだろう。

3．WM容量と注意課題パフォーマンス

目標維持を反映するWM容量は，記憶がほとんど関わっていない注意課題においても影響を与える。ここでは，注意課題の中でも反応抑制課題からWM容量を検討した研究を概観する。

3－1．WM容量と反応抑制課題

WM容量と反応抑制が関わる注意課題であるStroop課題の関係を検討した研究がある（Kane & Engle, 2003; Long & Prat, 2002）。彼らの用いたStroop課題ではインクの色と色の名前が同じ場合である一致刺激と，インクの色と色の名前が異なる不一致刺激を混在させた課題を用いている。不一致刺激では色の名前という言語情報が優勢な反応として生じてくるため，これを抑制してインクの色を言わなくてはならない。不一致刺激の出現頻度を操作することで，WM容量の影響が生じることが報告されている。彼らの研究では，WM容量が低い群では，エラーや反応時間の増大が見られており，優勢な反応の抑制とWM容量の間に関係があることが示唆されている。

Tsuchida & Murohashi（2009）では，脳波の一種である事象関連電位（Event-Related Potentials: ERP）を用いて，WM容量と反応抑制の関係を検討している。反応抑制が関わる課題の 1 つとして，AX-CPTを用いられた。Figure 2にBraver, Cohen, & Barch（2002）に基づいたAX-CPTの模式図を示す。AX-CPTの各試行はTable 1に示した割合で構成され，A-X系列が最も多い標的の系列であり，稀なA-nonX系列は抑制が要求される系列となる。AX-CPTは 2 条件あり，A-nonXの刺激が呈示されたときに反応を止めるNo-go条件と，反応を抑制して異なるボタンを押す2-choice条件であった。

Tsuchida & Murohashi（2009）の結果では，WM容量低群の方が高群より2-choice条件で，Probe A-nonX（Aの後にX以外が呈示される抑制試行）に対してエラーが多かった。No-go条件では群間の差は見られなかった。ERPにおいては，WM容量低群の方が高群よりもN2振幅が大きかった（Figure 3）。このN2振幅は認知的な葛藤の強さを反映している（Smith, Johnstone, & Barry, 2008; Smith, Smith, Provost, & Heathcote, 2010）。

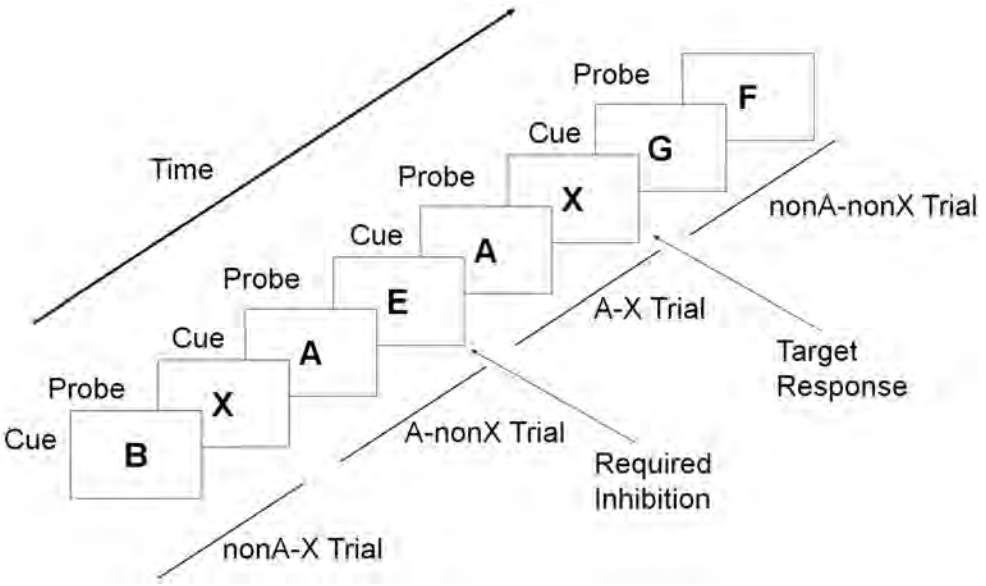

Figure 2　AX-CPTの模式図（Braver et al., 2002を改変）

Cue刺激とProbe刺激が交互に呈示される。Cue刺激であるAの後にXが呈示された時が主要な標的反応となる。Aが呈示されるが，Xが出ないときは抑制が必要な反応となる。

Table 1　AX-CPT各試行の配分

		Cue	
		Valid	Invalid
Probe	Target	A-X (70%)	nonA-X (10%)
	Non-target	A-nonX (10%)	nonA-nonX (10%)

また，Cue　A刺激ではWM容量高群の方が低群よりも前頭部（Fz）でのP3振幅が大きかった（Figure 4）。このP3振幅は注意資源の配分量を反映すると考えられている（Sirevaag, Kramer, Coles, & Donchin, 1989; Wickens, Kramer, Vanasse, & Donchin, 1983）。すなわち，WM容量高群はCue　A刺激に対し注意をより多く配分することができたことを示唆する。A-X　CPTにおいてCue　A刺激は次の反応を左右する重要な手がかり刺激であり，前頭葉でその情報が維持されることが想定されている（Braver et al., 2002）。統合失調症などでは，このAという情報を維持することができないことが報告されているが，WM容量低群ではそこまでの問題は見られない。一方，低群ではProbe　A-nonXの試行でエラーが多く，Aという情

報の維持はできているが，X以外の刺激が出てくることへの構えが形成できていないことが示唆される。

これまでの結果をまとめると，WM容量低群では高群よりも稀に呈示されるAの後のnonX刺激に対して適切に反応をできずにエラーを起こしやすく，ERP上も認知的葛藤が強い。これは，Aという手がかりに対する注意が不足している結果，適切な構えを形成することができていないことを示唆している。すなわちWM容量における反応抑制との関係は，反応抑制それ自体とあるのではなく，反応抑制に対する構え，抑制試行が来るかもしれないという適切な目標維持が関与していると考えられる。このことは行動指標による先行研究とも一致している（Redick, Calvo, Gay, & Engle, 2011）。Tsuchida & Murohashi（2009）の結果から，その情報は前頭部における目標維持が影響している可能性が示唆された。

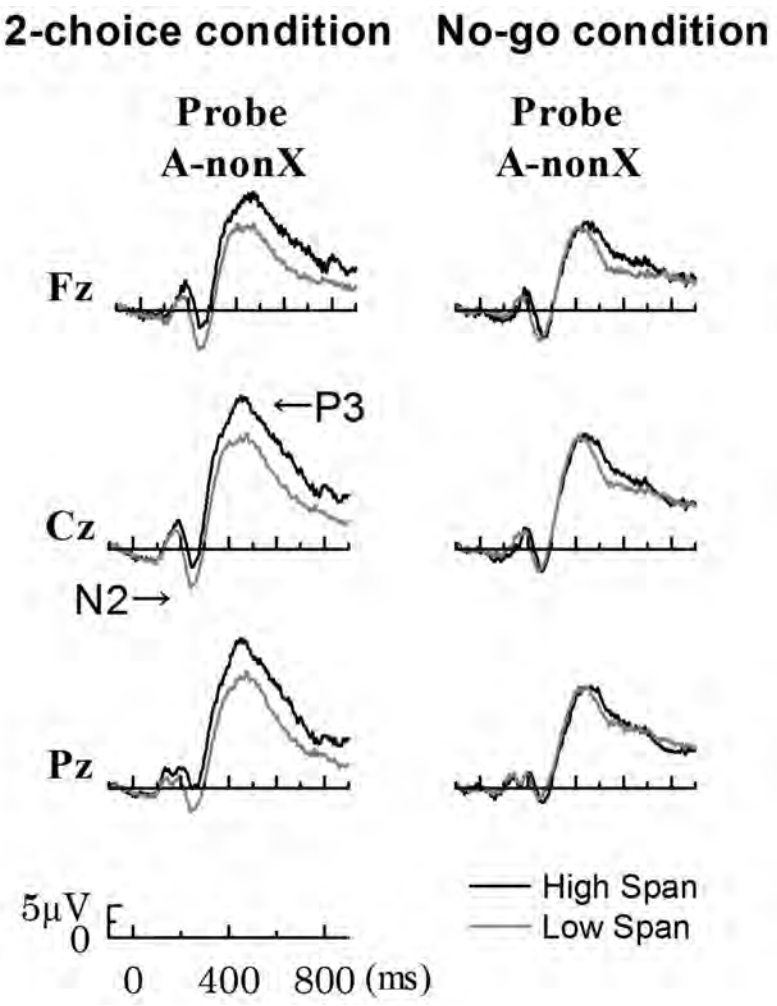

Figure 3　WM容量高・低群のA-nonX probe刺激に対する総加算平均波形
左のパネルが2-choice条件，右のパネルがNo-go条件。

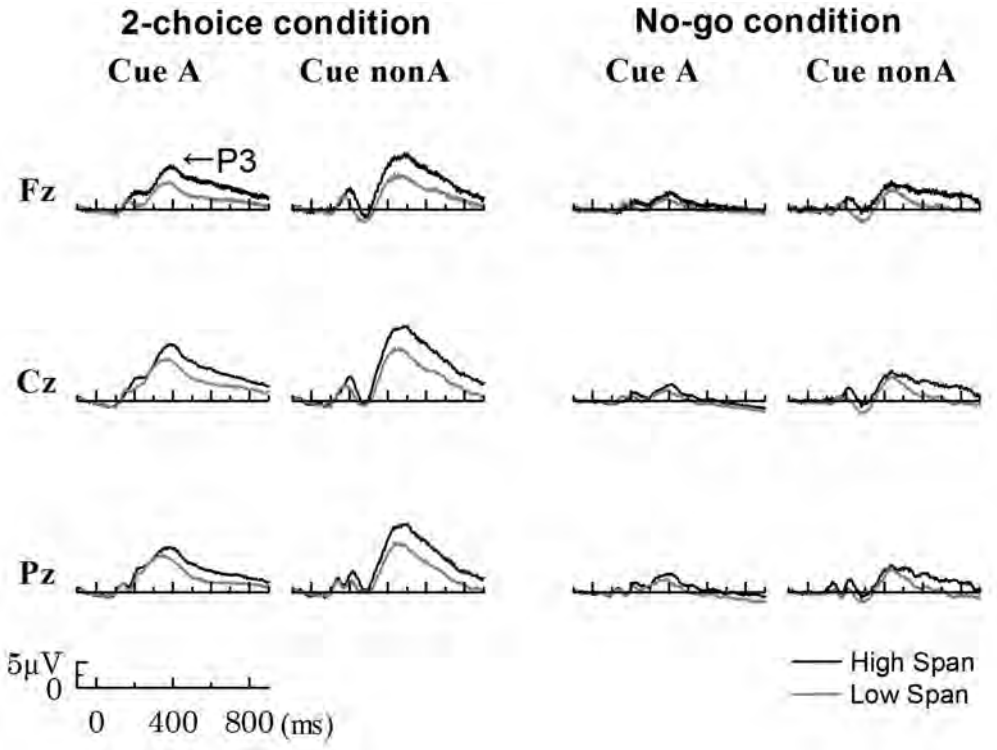

Figure 4　WM容量高・低群の各Cue刺激に対する総加算平均波形
左のパネルが2-choice条件，右のパネルがNo-go条件。それぞれ，Cue A刺激とCue nonA刺激の順序となっている。

3－2．WM容量と選択的注意課題

WM容量と選択的注意課題の間にも関係が見られることが報告されている。既に見たように，WMと注意の間には密接な関係がある。両者は同一のものとはいえないかもしれないが，不可分の関係に近いといえるだろう。視点をWMと注意のどちらから向けるかの違いと言っていいかもしれない。しかし，両者の役割を区別することはある程度可能であろう。Awh, Vogel, & Oh（2006）は，WMのための門番としての注意の働きを提唱している（Figure 5）。入力された情報は知覚フィルターにおいて取捨選択される。その際，注意が門番として働き，必要な情報がWMに送られる。これはまさに選択的注意の働きとWMの関係を示している。

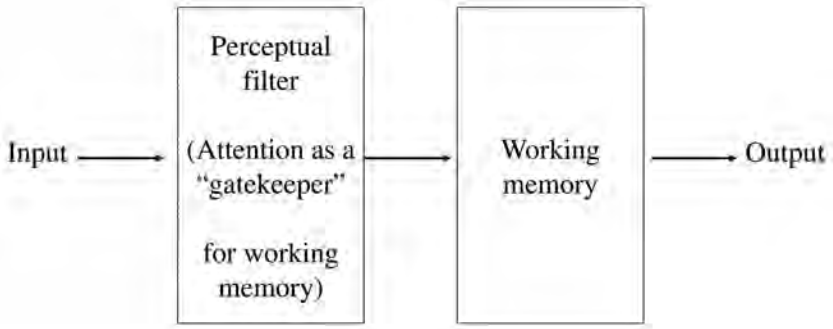

Figure 5　Awh et al.（2006）に基づいた，WMと注意の関係の模式図
入力された情報は知覚フィルターにおいて取捨選択される。その際，注意が門番として働き，必要な情報がWMに送られる。

このような選択的注意の働きは高次認知機能というよりは，より低次あるいは早い時間帯で生じている働きであり，知覚の段階ともいえる。知覚における選択的注意はWM容量の個人差に影響するのだろうか。Conway, Cowan, & Bunting（2001）の研究では，両耳分離聴課題のパフォーマンスがWM容量により異なったことを報告している。両耳分離聴課題では，参加者にヘッドホンをしてもらい，左右の耳で異なる刺激を呈示する。そこで，例えば左耳の刺激は無視して右耳の刺激に注意を向けて追唱といった課題を課すのである。その際に，無視している側に参加者の名前を呈示すると，気付く頻度に差が見られたのである。WM容量高群ほど無視する側で呼ばれた自分の名前に気付かなかったことから，妨害となる刺激に対する注意を抑制していたことが示唆される。

WM容量の個人差は知覚という早期の段階においても影響していることが考えられる。このことを脳活動から検討した研究がMinamoto, Osaka, & Osaka（2010）である。彼らは顔刺激を用いた記憶課題を実施し，顔刺激を記憶した後に妨害刺激を呈示した。妨害刺激が顔刺激の時，前頭部の活動はWM容量高群の方が低群よりも増強し，後頭部の活動はWM容量低群の方が高群よりも増強した。このことを彼らは，WM容量高群は前頭部から後頭部の知覚領域に対してトップダウンの調整をして注意を抑制したと報告している。

Minamoto et al.（2010）の研究は記憶課題遂行時の話である。Conway et al.（2001）の結果のように，選択的注意課題においても，WM容量は知覚レベルでの注意の抑制に関与しているのだろうか。Tsuchida, Katayama, Murohashi（2012）の研究では，記憶の影響が最小限である3刺激オドボール課題（選択的注意課題）を用いて検討した。標準，標的，そして妨害刺激がランダムに呈示され，標的刺激にボタン押しを行い，妨害刺激は無視することを求めた。妨害刺激は単純条件では毎回同じ500 Hzの純音が呈示されたが，新奇条件では毎回異なる新奇な環境音を切り取った音が呈示された。新奇な妨害刺激に対するN1振幅はWM容量低群の方が高群よりも大きかった。このN1は刺激呈示後100 ms付近で惹起し，聴覚皮質起源の注意を反映している（Alho et al., 1998）。単純な妨害刺激ではWM容量群による差はなかった。このことは，全参加者におけるリーディングスパンテスト得点とN1振幅の相関でも見られ，

新奇条件の妨害刺激で正の相関が見られた。すなわち，WM容量が高い者ほど新奇条件のN1振幅が小さいという結果であった。このことは，WM容量高群は新奇な妨害刺激に対する注意を知覚の時点で抑制できたことを示唆している。

これらの研究をまとめると，WM容量が高い者は，記憶課題であっても選択的注意課題であっても妨害となる情報への注意を知覚段階で抑制することができるといえるだろう。前頭部からのトップダウンの制御により，知覚領域の活動を抑えることができると考えられる。この効果は刺激呈示後100 ms程度の早い知覚の段階でも生じている。

4．WM容量とマインドワンダリング

WM容量の個人差は中央実行系の機能を反映し，具体的な機能として目標維持（goal maintenance）が関わっている。この機能により，記憶があまり関わっていない反応抑制課題や選択的注意課題などにおいても，WM容量の影響が見られると考えられる。記憶それ自体が関わっていない注意課題であっても影響が見られるということは，WM容量は日常の様々な場面で関与している可能性が考えらえる。このことを示しているのがWM容量とマインドワンダリングに関する研究である（より詳しくは，齊藤・三宅，2014を参照）。

4－1．WM容量とマインドワンダリングの関係

マインドワンダリング（mind wandering）とは，現在遂行している課題以外のことへ思考がそれてしまう現象であり，課題無関連思考や刺激独立思考など，類似した用語をより一般的に馴染みやすいものとして扱うために提唱されたものである（Smallwood & Schooler, 2006）。Kane, Brown, McVay, Silvia, Myin-Germeys, & Kwapil（2007）は，日常生活上のマインドワンダリングの生起とWMの関係を検討した。参加者は携帯情報端末で，1日8回，ランダムな時間帯に開始される質問に回答し，事前にWMテストを受けた394名が7日間参加した。参加者は現在の活動から思考が逸脱していたかについて回答し，逸脱していた場合，思考に関する主観的なコントロール感を7段階で回答した。また，回答時の状態や取り組んでいた課題についても評定した。Kane et al.はこの研究で，WM容量が低い人ほど，努力が必要であったり課題が困難であったりする時にマインドワンダリングが多くなるということを示した。

この研究に続き，WM容量を含めた高次認知機能とマインドワンダリングの関係や（Mrazek, Smallwood, Franklin, Chin, Baird, & Schooler, 2012），WM容量と関係がある文章読解，そしてマインドワンダリングの関係が検討された（McVay & Kane, 2012）。特に，McVay & Kaneでは，構造方程式モデルを用いて，これまで数多く報告されてきたWM容量と文章読解の関係の一部はマインドワンダリングが媒介していることを示している。未来のことに関するマインドワンダリングとWMの関係など，まだ議論は続いているが（McVay, Unsworth, McMillan, & Kane, 2013），WMにとってマインドワンダリングは密接な関係があることは疑いがないだろう。

マインドワンダリングは教育場面において，不注意，ノート取り，記憶などに強い影響を与

え（Szpunar, Moulton, & Schacter, 2013），成績を低下させることが報告されている（Smallwood, Fishman, & Schooler, 2007）。また，不随意的なマインドワンダリングは，臨床・非臨床レベルにおけるADHD症状の中核であると言われている（Seli, Smallwood, Cheyne, & Smilek, 2015）。WM容量と強い関係があるマインドワンダリングがこれらに影響を与えているということは，これらの問題はgoal maintenanceと表裏一体の関係にあることを示唆している。

4－2．ERPとマインドワンダリング

マインドワンダリングは注意が逸れる現象であり，WMと密接な関係がある。こうしたマインドワンダリングに関わる注意の研究として，刺激モダリティによる違いを検討したものがある。持続的に注意を集中させる処理には，呈示される刺激のモダリティに非特異的な効果と特異的な効果の両方がある。持続的注意が関わる課題を遂行中，低成績に関係する要因として，視覚刺激条件では注意散漫（distractibility）が，聴覚刺激条件では退屈さ（boredom）が影響していた（Berry, Li, Lin, & Lustig, 2014）。また，Baird, Smallwood, Lutz, & Schoole（2014）は，ERPによる視覚刺激を用いたマインドワンダリングの研究を報告している。彼らは0-back課題（ヴィジランス課題）を用い，マインドワンダリングが刺激に対する視覚P1の減衰として観察されることを示した。

マインドワンダリングはERPの視覚P1振幅の減衰として反映される。それでは，WM容量の違いによって，視覚注意課題遂行中のP1振幅が異なるのだろうか。この疑問について，土田・片山・室橋（2008）のデータを再分析した。視覚3刺激遂行中の後頭部電極（Oz）で惹起したP1成分が，WM容量高・低群で異なるかどうか，条件（Novel・Simple）×群（高群・低群）の2要因分散分析を実施した。Figure 6にOzにおける視覚3刺激オドボール課題の総加算平均波形を，Figure 7にWM容量高・低群のOzにおけるP1振幅を示す。標的刺激では統計的に有意な効果は得られなかった。妨害刺激に対しては，交互作用は見られなかったが，群の主効果が見られた（F（1, 24）= 4.42, p = .046）。視覚妨害刺激に対してWM容量低群は高群よりもP1振幅が小さかった。このことは，WM容量低群の方が高群よりも視覚3刺激オドボール課題遂行中にマインドワンダリングが生じていたことを示唆する。その効果はボタン押しを行う標的刺激では見られず，無視するべき妨害刺激で検出された。

選択的注意課題遂行中の視覚ERPにWM容量とマインドワンダリングの関係が反映されている可能性が示唆された。聴覚ERPを検討したTsuchida et al.（2012）の結果では，WM容量低群で妨害刺激に対する注意が増強していた。このことは視覚の分析結果と相反するように見える。しかし，Berry et al.（2014）に見られるように視覚と聴覚の刺激処理は異なる部分も存在する。聴覚刺激は比較的自動的に注意が補捉されるため，マインドワンダリングが多いWM容量低群ほど妨害刺激に対し注意が補捉されるのではないかと考えられる。一方，視覚刺激に対する注意は，認知的制御が要求されるため，マインドワンダリングが多いWM容量低群ほど，妨害刺激に注意が向かないのではないかと考えられる。これらのことから，WM容量は選択的注意課題遂行中のマインドワンダリングに影響している可能性が考えられ，その効果はモダリティにより異なる可能性が示唆された。

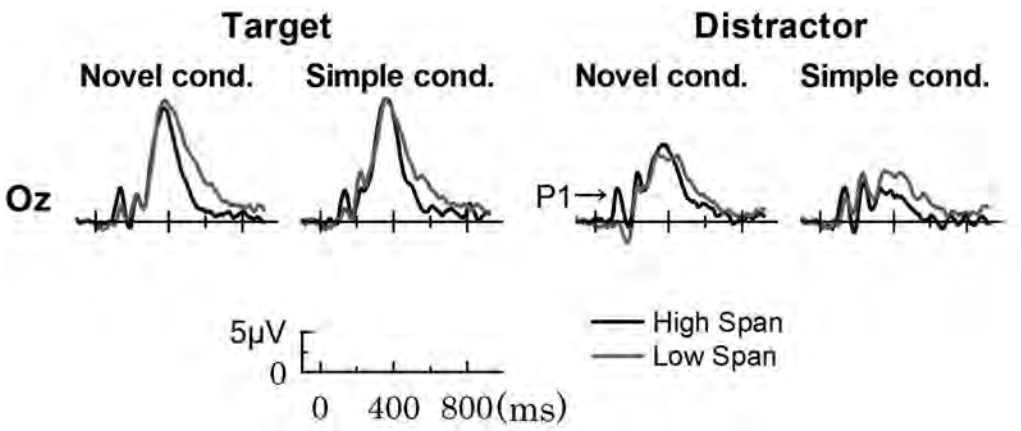

Figure 6　Ozにおける視覚 3 刺激オドボール課題の総加算平均波形
左のパネルが標的刺激，右のパネルが妨害刺激。それぞれ新奇条件，単純条件との順序となっている。

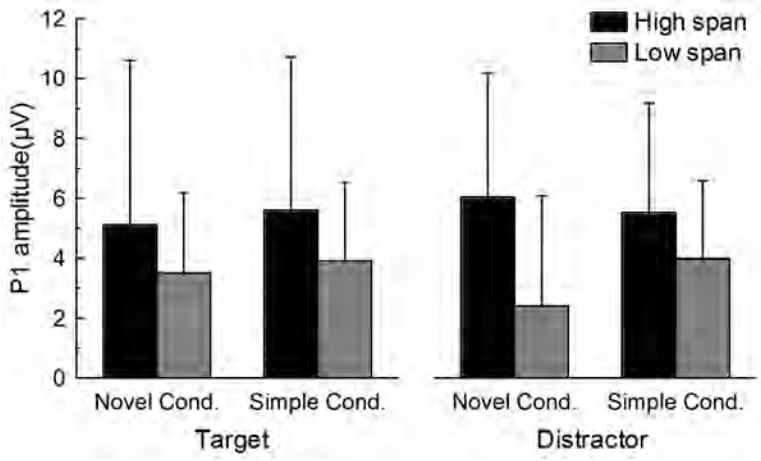

Figure 7　WM容量高・低群のOzにおけるP1振幅
黒い棒がWM容量高群，灰色の棒がWM容量低群。左のパネルが標的刺激，右のパネルが妨害刺激。
それぞれ新奇条件，単純条件との順序となっている。

5．今後の展望

以上，注意制御機能としてのWM容量の具体的な機能について概観し，マインドワンダリングという要素とWM容量の関係について考察・検証した。これらを踏まえて，今後の研究課題についてみてみたい。

5－1．WM容量の個人差の教育的場面への応用

WM容量の個人差は記憶容量，あるいはマインドワンダリングといった形で教育場面においても影響を及ぼすと考えられる。まず，音韻ループ，視空間スケッチパッド，そして中央実行系の各WM容量のアセスメントを実施することは，児童の得手不得手を把握するのに有用なアプローチとなるだろう。今後，知能検査や認知機能検査だけでなく，WM容量測定に特化した検査バッテリーの使用が広がる可能性があるだろう。

Tsuchida et al.（2012）では，WM容量低群は妨害となる聴覚刺激に対して注意を抑えることができなかった。これを学校場面で例えると，ADHDの児童が外部の気になる刺激に対して注意が転導してしまうのを抑えることができないことと非常に類似している。ADHDではWMの問題がかねてから指摘されている（Barkley, 1997）。このような現象はマインドワンダリングの影響も当然あるだろう。マインドワンダリングと講義についての研究では，マインドワンダリングを多く報告した者の方が講義内容の記憶得点が低いことが示されている（Szpunar, Khan, & Schacter, 2013）。これに対し，授業の途中で数回，内容チェックの質問をすることで，マインドワンダリングの減少やノート取り活動も促進され，学習が改善されたこともまた示されている。こうした，認知心理学的根拠に基づいた教育応用の実証研究が，今後更に必要となるだろう。WM容量の個人差により，こうした効果は異なってくる可能性も考えられる。WM容量の個人差を踏まえた検討もまた必要であると考えられる。

5－2．注意からアプローチするWM

WM容量を増加させようとするトレーニングが多くの研究で試みられてきた。トレーニングの効果は，WMのみならず反応抑制機能やADHD症状の軽減にまで効果がおよぶことを示唆する報告もある（Olesen, Westerberg, & Klingberg, 2003; Klingberg et al., 2005）。これまでのWMトレーニング研究をメタ分析した報告では，トレーニングの効果がトレーニングしていない課題に対しても影響を与えるという一般的効果については否定的な見解を示している（Melby-Lervåg & Hulme, 2013; Shipstead, Redick, & Engle, 2012）。一方，トレーニングしたWMに近い領域内での効果は存在している。これまで見てきたように，知覚領域の注意とWM容量は関連している。WMの訓練により知覚領域の注意機能の改善を試みる，あるいはその逆のアプローチが有用であるかもしれない。実際に知覚領域の注意トレーニングにより，WM機能が改善したことが統合失調症などの精神疾患における認知リハビリテーションで報告されている（Fisher, Holland, Merzenich, & Vinogradov, 2009）。このことは門番としての注意の改善により，WM内に送られる情報が増加した，あるいは正確になったのではないかと考えられる。

読字障害である発達性ディスレクシアは音韻性だけでなく，視覚性のものも存在することが想定されてきている。表意文字である漢字を使用する日本では，音韻性ディスレクシア以上に

視覚性ディスレクシアの問題が多い可能性が考えられる。視覚性ディスレクシアの原因として，視覚注意の問題が指摘されている（Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007; Lobier, Zoubrinetzky, & Valdois, 2012）。WMのトレーニングを行うことでADHD症状の軽減を試みるなど，幅広い効果は期待できないだろう。しかし，近い領域の効果を目指したWMあるいは注意機能のトレーニングといったアプローチは有用であるかもしれない。発達障害の教育指導では苦手なものを矯正するのではなく，個人内で得意な能力を活かして補うことが基本方針である。しかし，仮にWMのトレーニングである程度の機能改善が望めるのならば，発達性ディスレクシアの教育においても非常に有用なアプローチとなるであろう。

6．結語

本論文では，注意制御機能を反映するWM容量の具体的な機能は何なのか検証した。その中心的機能として目標維持（goal maintenance）があり，これが関わる場合，記憶があまり関わらない課題においても影響を与えることを示した。また，マインドワンダリングとWM容量の関係について考察し，選択的注意課題や日常場面において影響を与えている可能性を示唆した。

WMをはじめとして，現在，認知心理学が築いてきた知見は，現実の日常場面へと応用する試みが数多くなされてきている。その際は，認知心理学的な精緻なモデルや神経・生理心理学的な根拠に基づいた検討が必要となってくるだろう。教育場面の応用においても，根拠に基づいた指導を提供する一助となる心理学研究が望まれる。

引用文献

Alho, K., Winkler, I., Escera, C., Huotilainen, M., Virtanen, J., Jääskeläinen, I. P., … Ilmoniemi, R. J. (1998). Processing of novel sounds and frequency changes in the human auditory cortex: magnetoencephalographic recordings. ***Psychophysiology, 35,*** 211-224.

Awh, E., Vogel, E. K., & Oh, S.-H. (2006). Interactions between attention and working memory. ***Neuroscience, 139,*** 201-208.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Ed.), ***The psychology of learning and motivation,*** Vol. 8. New York: Academic Press. pp. 47-89.

Baddeley, A. D. (1993). Working memory or working attention? In A. D. Baddeley, & L. Weiskrantz (Eds.), ***Attention: Selection, awareness, and control: A tribute to Donald Broadbent***. New York: Clarendon Press. pp. 152-170.

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

Baddeley, A. D., Allen, R. J., & Hitch, G. J. (2011). Binding in visual working memory: The role of the episodic buffer. ***Neuropsychologia, 49,*** 1393-1400.

Baird, B., Smallwood, J., Lutz, A., & Schoole, J. W. (2014). The Decoupled Mind: Mind-wandering Disrupts Cortical Phase-locking to Perceptual Events. *Journal of Cognitive Neuroscience, 26,* 2596–2607.

Barkley, R. A. (1997). ADHD and the nature of self-control. New York: The Guilford Press.

Berry, A. S., Li, X., Lin, Z., & Lustig, C. (2014). Shared and distinct factors driving attention and temporal processing across modalities. *Acta Psychologica, 147,* 42–50.

Bosse, M. L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition, 104,* 198–230.

Braver, T. S., Cohen, J. D., & Barch, D. M. (2002). The role of prefrontal cortex in normal and disordered cognitive control: A cognitive neuroscience perspective. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of Frontal Lobe.* New York: Oxford University Press. pp. 428–447.

Conway, A. R. A., Cowan, N., & Bunting, M. F. (2001). The cocktail party phenomenon revisited: The importance of working memory capacity. *Psychonomic Bulletin & Review, 8,* 331–335.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences, 24,* 87–185.

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

Engle, R. W., Kane, M. J., & Tuholski, S. W. (1999). Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control.* New York: Cambridge University Press. pp. 102–134.

Fisher, M., Holland, C., Merzenich, M. M., & Vinogradov, S. (2009). Using neuroplasticity-based auditory training to improve verbal memory in schizophrenia. *American Journal of Psychiatry, 166,* 805–811.

Kane, M. J., Brown, L. H., McVay, J. C., Silvia, P. J., Myin-Germeys, I., & Kwapil, T. R. (2007). For whom the mind wanders, and when: an experience-sampling study of working memory and executive control in daily life. *Psychological Science, 18,* 614–621.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General, 132,* 47–70.

Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P. J., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlström, K., … Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD－A randomized, controlled trial. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 44,* 177–186.

Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity? *Intelligence, 14,* 389–433.

Long, D. L., & Prat, C. S. (2002). Working memory and Stroop interference: An individual differences investigation. *Memory and Cognition, 30,* 294–301.

Lobier, M., Zoubrinetzky, R., & Valdois, S. (2012). The visual attention span deficit in dyslexia is

visual and not verbal. *Cortex, 48,* 768–773.

McVay, J. C., & Kane, M. J. (2012). Why does working memory capacity predict variation in reading comprehension? On the influence of mind wandering and executive attention. *Journal of Experimental Psychology: General, 141,* 302–320.

McVay, J. C., Unsworth, N., McMillan, B. D., & Kane, M. J. (2013). Working memory capacity does not always support future-oriented mind-wandering. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale, 67,* 41–50.

Melby-Lervåg, M., & Hulme, C. (2013). Is working memory training effective? A meta-analytic review. *Developmental Psychology, 49,* 270–291.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review, 63,* 81–97.

Minamoto, T., Osaka, M., & Osaka, N. (2010). Individual differences in working memory capacity and distractor processing: Possible contribution of top-down inhibitory control. *Brain Research, 1335,* 63–73.

Mrazek, M. D., Smallwood, J., Franklin, M. S., Chin, J. M., Baird, B., & Schooler, J. W. (2012). The role of mind-wandering in measurements of general aptitude. *Journal of Experimental Psychology: General, 141,* 788–798.

Oberauer, K., Süß, H. -M., Wilhelm, O., & Sander, N. (2007). Individual differences in working memory capacity and reasoning ability. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory,* New York: Oxford University Press. pp. 49–75.

Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2003). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience, 7,* 75–79.

大塚 一徳 (2000). 問題解決とワーキングメモリ容量の個人差 苧阪直行（編著）脳とワーキングメモリ 京都大学出版会 pp. 257–276.

Osaka, M., & Osaka, N. (1992). Language-independent working memory as measured by Japanese and English reading span tests. *Bulletin of the Psychonomic Society, 30,* 287–289.

苧阪 満里子・苧阪 直行 (1994). 読みとワーキングメモリ容量 心理学研究, *65*, 339–345.

苧阪 直行 (2012). 前頭前野とワーキングメモリ 高次脳機能研究, *32*, 7 –14.

Redick, T. S., Calvo, A., Gay, C. E., & Engle, R. W. (2011). Working memory capacity and go/no-go task performance: Selective effects of updating, maintenance, and inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 37,* 308–324.

齊藤 智・三宅 晶 (2014). ワーキングメモリ理論とその教育的応用 湯澤 正通・湯澤 美紀（編著） ワーキングメモリと教育 第１章 (pp. 3–25) 北大路書房

Seli, P., Smallwood, J., Cheyne, J. A., & Smilek, D. (2015). On the relation of mind wandering and ADHD symptomatology. *Psychonomic Bulletin & Review, 22,* 629–636.

Shipstead, Z., Redick, T. S., & Engle, R. W. (2012). Is working memory training effective? *Psychological Bulletin, 138,* 628–654.

Shute, V. J. (1991). Who is likely to acquire programming skills? *Journal of Educational Computing Research, 7,* 1–24.

Sirevaag, E. J., Kramer, A. F., Coles, M. G. H., & Donchin, E. (1989). Resource reciprocity: An event-related brain potentials analysis. ***Acta Psychologica, 70,*** 77–97.

Smallwood, J., Fishman, D. J., & Schooler, J. W. (2007). Counting the cost of an absent mind: mind wandering as an underrecognized influence of educational performance. ***Psychonomic Bulletin & Review, 14,*** 230–236.

Smallwood, J., & Schooler, J. W. (2006). The Restless Mind. ***Psychological Bulletin, 132,*** 946–958.

Smith, J. L., Johnstone, S. J., & Barry, R. J. (2008). Movement-related potentials in the Go/NoGo task: The P3 reflects both cognitive and motor inhibition. ***Clinical Neurophysiology, 119,*** 704–714.

Smith, J. L., Smith, E. A., Provost, A. L., & Heathcote, A. (2010). Sequence effects support the conflict theory of N2 and P3 in the Go/NoGo task. ***International Journal of Psychophysiology, 75,*** 217–226.

Szpunar, K. K., Khan, N. Y., & Schacter, D. L. (2013). Interpolated memory tests reduce mind wandering and improve learning of online lectures. ***Proceedings of the National Academy of Sciences, 110,*** 6313–6317.

Szpunar, K. K., Moulton, S. T., & Schacter, D. L. (2013). Mind wandering and education: from the classroom to online learning. ***Frontiers in Psychology, 495,*** 1–7.

土田 幸男・片山 順一・室橋 春光 (2008). ワーキングメモリ容量の個人差と視覚 3 刺激オドボール課題における注意の捕捉の関係　生理心理学と精神生理学, ***26***, 217–228.

Tsuchida, Y., Katayama, J., & Murohashi, H. (2012). Working memory capacity affects the interference control of distractors at auditory gating. ***Neuroscience Letters,*** 516, 62–66.

Tsuchida, Y. & Murohashi, H. (2009). Working memory capacity and inhibition in AX-CPT. ***Proceedings of Cognitive Neuroscience 2009 Annual Meeting*** (San Francisco, USA), p145.

Wickens, C., Kramer, A., Vanasse, L., & Donchin, E. (1983). Performance of concurrent tasks: A psychophysiological analysis of the reciprocity of information-processing resources. ***Science, 221,*** 1080–1082.

Working Memory and Attention
− Examination using the Event-Related Potentials (ERP) −

Yukio TSUCHIDA

Key Words

working memory capacity, individual difference, attention, event-related potential (ERP), mind wandering

Abstract

Working memory used for a goal-directed behavior has limited capacity. In this article, we examined what the specific function of the working memory capacity as the controlled attention function was. In addition, we discussed how working memory capacity affected the everyday situations in terms of the mind wandering. In the study using event-related potential (ERP), the analysis examined relationship between individual difference in working memory capacity and ERP component involved mind wandering. The amplitude of ERP component involved mind wandering for low-span group has smaller than high-span group. This result suggested possibility that many mind wandering occurred in low-span group during the tasks. Finally, we discussed further research and educational aspect based on the relationship between working memory capacity and attention.