The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ワーキングメモリにおける注意のフォーカスと抑制の脳内表現
Author(s)	苧阪, 満里子
Citation	心理学評論. 2006, 49(2), p. 341-357
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/97947
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Japanese Psychological Review
2006, Vol. 49, No. 2, *341 – 357*

ワーキングメモリにおける注意のフォーカスと抑制の脳内表現

苧　阪　満里子
大阪外国語大学

Brain mechanisms of focus and inhibition of attention in working memory

Mariko OSAKA
Osaka University of Foreign Studies

Using functional magnetic resonance imaging (fMRI), the neural substrate of executive function of working memory was investigated with respect to differences in working memory capacity. While performing span tasks such as reading span test (RST), activation differences were compared between high-span subjects (HSS) and low-span subjects (LSS). Significant activation increase was found in two prefrontal regions: left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) and anterior cingulate cortex (ACC). A group difference was also found; a significant increase in signal change was observed only for HSS and not for LSS.

Moreover, to investigate the neural substrates for focus and inhibition of attention in working memory, two kinds of RST, focused RST (F-RST) in which the target word to be maintained was a focus word of the sentence and non-focused RST (NF-RST) in which it was not were performed. The results showed that fMRI signal changes increased significantly in the left superior parietal lobule (SPL) under NF-RST condition mostly in HSS.

These findings suggest that HSS showed a superior attention control system especially in focusing, inhibiting and shifting attention supported by these SPL and ACC-DLPFC networks.

Key words: working memory, focus of attention, inhibitory control, brain mechanism
キーワード：ワーキングメモリ，注意のフォーカス，抑制，脳内機構

ワーキングメモリ

わたしたちを取り巻く日常の場面では，あることがらをほんのわずかな間だけ憶えておかなければならないことがよくある。たとえば会話をするときには相手と話しながら，会話の内容をしばらく憶えておく必要がある。このような短時間の記憶は通常さほど意識されることが少ないが，相手の話した内容を憶えていないと，何度でも同じことを聴き直さなければならなくなる。

このように，わたしたちは読んだり聞いたりした内容を活性化状態のまま並列的に保持しながら，続く情報処理に適切に対処することにより，さまざまな高次認知活動に対応している。

ワーキングメモリはこうした情報の処理と，処理した情報を活性化状態において一時的に維持する機能を支える機構であり，言語理解や学習，思考などのさまざまな認知活動に重要な役割を果たしている（Baddeley, 1986, 1996; Just & Carpenter, 1992; 苧阪，2002）。

ワーキングメモリにおいて一時的に活性化状態におかれた情報は，必要が無くなれば消去され，また，あらたな情報が活性化された状態で保持されていく。このような絶え間ない，情報の活性化と保持の継続と，さらには活性化された情報の統合により，わたしたちの高次認知活動は可能となるのである。

こうしたワーキングメモリのはたらきを支えているのは，おもに中央実行系における注意制御の役割が大きい。中央実行系における注意制御は，特定の対象に注意を向けると同時に他の対象を抑

制するはたらきをも担っている。

会話の場面を考えてみよう。たとえば，京都の「金閣寺」が話題になっている場面である。「金閣寺」が話題に上ると，その金箔の外観に注意が向けられ活性化される。一方，「金閣寺は何層の建物ですか」と尋ねられると，その構造，特に屋根の構造に注意を向けざるを得ない。その時，金箔の概観は抑制されねばならない。そして，注意のフォーカス（focus）は「金箔」から「屋根の構造」に移行して，先ほどフォーカスを向けた対象は抑制されるのである。

このように，ワーキングメモリの注意の制御には，注意のフォーカスと抑制制御が，絶え間なく求められているのである。

本稿では，ワーキングメモリのはたらきを支える注意のフォーカスと抑制制御機能について，その脳内機構を手がかりとして考えてみたい。

ワーキングメモリの資源制限

ワーキングメモリのはたらきで重要なポイントとして，ワーキングメモリの保持と処理を支える機能には，処理資源に制限があることがあげられる。

Baddeley と Hitch は，二重課題法（dual task methods）による検証から，ワーキングメモリの処理資源は，保持される情報と課題遂行との間で共有されていると考えた（Baddeley & Hitch, 1974）。そして，ワーキングメモリの特性を基にモデルを構築したのである（Baddeley, 1986）。モデルには，中心的な役割を担う中央実行系（central executive）と，情報の一時的な貯蔵庫（バッファー）として機能するサブシステム（slave system，従属システム）である音韻ループ（phonological loop）と視覚・空間的スケッチパッド（visuo-spatial sketchpad）が想定されている。また，新たなサブシステムとしてエピソード・バッファー（episodic buffer）が加えられ，ワーキングメモリのはたらきに必要な長期記憶のデータ貯蔵庫からの情報を参照したり検索したりする機能が付加されている（Baddeley, 2000, 2003）。

このようにワーキングメモリの概念では，従来より保持機能にのみ注目されていた短期記憶の概念を拡大して，文の理解や推論などの高次の認知機能と関連する保持の場としての役割が強調されている。また，それに対応するように，中央実行系の注意の制御機能の重要性が注目されている（Baddeley & Logie, 1999 ; Cowan, 1999）。

ワーキングメモリの個人差

ワーキングメモリの資源制限があるなか，高次な認知活動をスムーズに行なうためには，課題目標を遂行するまでの間だけ，課題遂行に必要な情報を活性化（activation）させておくことが重要である。もちろん，情報を処理するにも活性化が必要である。したがって，情報の処理と保持がともに活性化に依存することになる。Just and Carpenter（1992）は，このような情報の活性化を支えるものとしてワーキングメモリを捉え，制限された資源の下での処理と保持の並列処理を基本として，高次認知活動を生みだすシステムであると想定している。

認知課題の要求する情報の保持および処理の量が多ければ多いほど，処理資源は限界に近づくこととなる。処理資源が限界に近づくと，認知課題の遂行に制約が生じ，情報処理の速度が低下したり誤りが増加するようになる。一方，保持も困難になり，忘却や記憶内容の変容が生じる。このように処理資源が制約を受けたとき，認知活動がどの程度まで制約されるかをめぐって，個人差が顕在化してくる（Just & Carpenter, 1992）。Just and Carpenter（1992）は，こうしたワーキングメモリの個人差が，高次な認知活動，とくに言語理解にさまざまに影響をおよぼしていることを指摘している。

リーディングスパンテスト（reading span test: RST）は，ワーキングメモリの個人差，特に言語性ワーキングメモリ資源の個人差を測定するテストとして開発されたテストである（Daneman & Carpenter, 1980 ; 苧阪，2002 ; 苧阪・苧阪，1994）。RST では，読みの過程における情報処理と保持のトレードオフ関係が想定されていて，読みと単語の保持がどの程度できるかにより，ワーキングメモリの個人差が測定される。

Daneman and Carpenter（1980）は，RST の評価値と読みの理解評価との関連を調べ，

RSTの評価値が文章理解と統計的に有意な相関を持つことを見出した。これに対して，従来の短期記憶の測度である単語のメモリスパンは，言語理解の測度との間に有意な相関が確認できなかった。この結果は，メモリスパンテストの評価値がおおむね読みの理解との相関が認められないか，またはごく弱い相関しか認められていない（Perfetti & Goldman, 1976）のに対して，RSTの成績が読みの理解と関連していることを積極的に認めるものであった。

文の理解との関連は，RSTだけではなく黙読（silent reading）や聴取（listening）の場合についても，いずれの評価値も文章理解との関連が認められた。したがって，RSTの評価値は，読みに限定しない一般的な言語処理におけるワーキングメモリのはたらきを背景に持ち，認知活動の個人差を検討する有効な指標として支持されてきた（Baddeley, Logie, Nimmo-Smith, & Brereton, 1985；Daneman & Carpenter, 1980；Daneman & Merikle, 1996；Masson & Miller, 1983；苧阪・苧阪，1994）。

苧阪・苧阪（1994）は，RSTの日本語版を作成したが，英語版と同様にRSTと読みの理解との相関を認める結果を得ている。記憶すべきターゲットは英語RSTでは文末の単語であるが，日本語RSTでは構文構造を考慮して，文中の下線が引かれた単語をターゲット語として用いている。これは，日本語では文末単語が動詞であることが多いため，ターゲット語が動詞に偏ることを避けるためである。さらに，英文の文末単語は多くの場合に文のフォーカスを担い得る重要な役割を持つ単語である（エンドフォーカス，end focus）。これに対して，日本語はほとんどエンドフォーカスとならない（久野，1978）こともその理由の一つである。この文のフォーカスについては，本稿の後半に詳細を述べたい。

さて，RSTに類似したスパンテストも開発されていて，文の読みを計算課題としたオペレーションスパンテスト（operation span test, OST: Turner & Engle, 1989）などがある。OSTは，暗算課題を解きながら右端に書かれた単語を記憶する課題である。OSTのように処理作業が言語処理に直接かかわるものではないテストであっても，その評価値は言語理解の成績と関連することが報告されている（Turner & Engle, 1989）。

そこで，このようなテストに高い成績を示す被験者たちの特徴が，低い成績にとどまる被験者たちに比較してどのような違いがあるのか，特に注意の制御機能とのかかわりについて検討が進められている（苧阪，2002）。

ワーキングメモリの脳内機構

ニューロイメージ研究の進展により，脳の活性化部位を探索することが可能となり，ワーキングメモリの脳内機構についても積極的に探索されている。研究の内容は，Baddeleyのモデルにおけるサブシステムと中央実行系のそれぞれの脳内機構の探索に二分される（苧阪，2000）。

サブシステムの一つである音韻ループの脳内機構に関しては，PETを用いたPaulesu, Frith, and Frackowiak（1993）の研究から，音韻ループの脳内局在が調べられている。そこでは，アルファベット文字系列の記憶保持課題と音韻を判断する音韻同定課題により生起した脳活動が，音韻的にリハーサルすることができないハングル文字の保持を課題とした統制条件と比較された。その結果，音韻ストア（phonological store）に対応する領域が縁上回（supramarginal gyrus, Brodmann, BA 40）にあることを，一方，構音リハーサル（articulatory rehearsal）は，下前頭回のブローカ領域（BA 44）で処理されていることを導きだした。

一方，視覚・空間的スケッチパッドの脳内機構については，Jonides et al.（1993）の研究では，記憶条件と知覚条件の両条件におけるPET測定から脳血流量の変化が比較された。両条件を比較すると，記憶課題では知覚条件にくらべていずれも右半球の前頭，運動前野，頭頂領域の活性化が認められた。以後の研究でも，視覚・空間的スケッチパッドに対応した活動はいずれも右半球であり，音韻ループの脳内機構と考えられている領域の反対側の活動が報告されている（Awh et al., 1996；D'Esposito, Aguirre, Zarahn, & Ballard, 1998；Owen et al., 1998；Smith, Jonides, & Koeppe, 1996）。

中央実行系の脳内機構

中央実行系の脳内機構は前頭前野にあると指摘されていて，実行系機能が前頭前野にあるとする研究結果と領域が一致している（Duncan & Owen, 2000）。

中央実行系の脳内機構については，ワーキングメモリに頻繁に用いられる二重課題を用いた研究から，前頭前野の活動が指摘されている（D'Esposito et al., 1995）。彼らが用いた課題は，意味的カテゴリ判断をする言語的課題と，メンタルローテーションの空間的課題の2種類であった。それぞれの課題を単独で行なっている時と，2種類の課題を同時に行なう二重課題の下でfMRI測定が実施された。すると，二重課題時には，両側の背外側前頭回（dorsolateral prefrontal cortex, DLPFC: BA 46, 9）において，活動の増強が認められた。DLPFCの活動上昇は6名の被験者すべてに認められたが，その中の5名の被験者には前部帯状回（anterior cingulated cortex, ACC）にも活動増強を示した。このような活動増強は，二重課題による課題の困難度に起因するとは考えられなかった。というのは，単独課題では課題を困難にしてもDLPFCの活動は認められなかったからである。そこで，二重課題で必要とされる注意の制御機能がDLPFCにあるのではないかと考えられた。

前頭前野のなかでも背側領域（DLPFC）か腹側領域（ventrolateral prefrontal cortex, VLPFC: BA 44, 45）の差により，その機能が異なることも指摘されている（Rypma, Prabhakaran, Desmond, Glover, & Gablieli, 1999）。そこでは，保持すべき文字の桁数を1，3，6桁と変化させて，前頭前野の活動を比較した。すると，3桁の保持では1桁に比較して前頭前野のVLPFCに活動増強が認められたが，6桁になるとDLPFCの活動が高くなった。その時の活動増強は，記憶すべき対象を符号化（encoding）している段階で上昇することが確認された。そこで，前頭前野VLPFCは保持機能のサブ容量としての役割を果たすが，保持すべき内容が増加すると，サブ容量に加えてDLPFCがその調整のはたらきをすると考えられた。たとえば，より多くの項目を符号化して保持を可能にするための方略の調整などもそれにあたる。サブ容量の制限については，これまで7±2桁であると考えられてきた（Miller, 1956）。しかし，Cowan（2001）は，方略の工夫などが介入しない限り4桁であると改めて指摘している。Rypma et al.（1999）の報告で，3桁から6桁に保持量が増加した時にDLPFCの増強が認められたのは，4桁のサブ容量を超過すると，方略をく工夫するなど，DLPFCによる注意の制御が必要となることが示唆され興味深い。

中央実行系の機能は，ランダム生成（random generation）課題からも検討されている（Petrides, Alivisatos, Meyer, & Evans, 1993）。ランダム生成課題の遂行中にPETにより血流量を測定して統制条件と比較したところ，前頭前野のDLPFC の活性化が確認された。ランダム生成課題は，数字をランダムに生成する課題であり，すでに報告した数字を絶えず自分自身でモニターしながら課題遂行を進める中央実行系の制御が必要とされる課題である。そこで，この領域が，課題場面における自己の対応をモニター制御することと関連しているものと考えられた。

このように二重課題により注意制御が必要な場面や，サブ容量を超える保持に直面した時，課題遂行にモニタリングを必要とされる場面などにおいて中央実行系の注意制御が必要となり，それがDLPFCの活動を引き起こしているものと解釈される。

RST遂行における脳内機構

中央実行系の脳内機構は，RSTなどのスパンタスクに際して生起する脳の活動からも検討されている。スパンタスク遂行に要求されるワーキングメモリのはたらきについては，二重課題と同様に中央実行系の関与が重要であることも指摘されている（Baddeley, 1992; Just & Carpenter, 1992）。

Just, Carpenter, and Keller（1996）では，RSTと黙読との2課題のもとでfMRIの測定が行なわれた。両課題ともに，左半球の言語領域すなわちブローカ領域とウェルニッケ領域の活動が確認された。ブローカ領域では，両課題でその活動の強さに差が認められなかったが，ウェルニッ

ケ領域およびその近傍にある角回や縁上回では，黙読条件に比較してRST条件で活動が増強するのが認められている。

また，RST遂行時の脳の活動部位をfMRIから測定して，文読み課題，単語の保持課題の二つの単独課題と比較したBunge, Klinberg, Jacobson, and Gabriel（2000）では，3課題ともに左半球のDLPFCに活動を認めた。DLPFCの活動は右半球でも認められたが程度は弱かった。さらに，左の中側頭回，両側のACC，両側の頭頂葉，後頭葉および小脳はRST課題で最も活動が増大した。左半球のDLPFCやACCの活動は3課題ともに認められ，この結果は，RSTが単語の保持および文理解と資源共有していることを支持するものであった。

RST以外のスパンタスクの遂行中にも，脳活動の様子が検討されている。Smith et al.（2001）は，OST遂行時の脳活動をPET測定により検討したところ，OSTの遂行時にはDLPFCの活動増強を確認した。しかし，DLPFCの活動増強が認められたのは，若年者の中でも課題遂行成績が悪い被験者に顕著であった。また，DLPFCの活動は高齢者に増強が認められるなど，スパンタスク遂行中のDLPFCの活動に個人差が認められることを指摘している。

DLPFCとACC

ここまで紹介したように，ワーキングメモリの脳内機構を求める研究については，多くの研究が前頭前野を中央実行系の基盤としている（Duncan & Owen, 2000）。

そこで，ワーキングメモリの課題遂行において活動増強が認められるDLPFCとACCについて，中央実行系のどのような機能が担われているのか，特に注意の制御機能について考えてみたい。ここでは，両領域の機能分離に関する研究例を見ることから，両領域の特徴を考えてみたい。

近年のニューロイメージングを用いた研究から，注意制御システム，つまり行動の制御あるいは抑制機能に関する脳内機構は前頭領域のDLPFCとACCにあると考えられている。また，DLPFCとACCの注意の制御に関して，両者の機能分離が指摘されている。

MacDonald, Cohen, Stenger, and Carter（2000）は，DLPFCは課題遂行のための注意の維持に，ACCは競合する反応への対応にそれぞれ関与しているという。彼等が用いたのはストループ課題である。そこでは，色名単語を被験者に見せて，「単語の読み」あるいは「色名呼称」のどちらが課題目標であるかの教示が与えられた。この時にfMRIにより脳活動を測定したところ，DLPFCの活動は色名がインクの色と一致しているか否かにかかわらず，教示の種類，つまり「色名呼称」の場合に一貫して増強が認められた。これは，DLPFCが注意の維持，つまり「何に注意を向けるか」，その表象を保持することに関与していることを示すものであった。

興味深いのは，DLPFCの活動量と色名呼称にみられた干渉の大きさ（反応時間の遅れ）との間には負の相関が認められたことであり，DLPFCが活動増強するにしたがって，干渉はより少なくてすむことになる。これは，DLPFCが課題目標に向かって，現在置かれている「注意の対象」をとらえ，それに注意を維持することにより課題遂行を効果的に進めていることを意味している。

ACCの活動はこれとは異なる様相を示した。ACCの活動は教示に対してではなく反応の種類により異なり，単語とその色が不一致の場合に活動が増強したのである。不一致の場合の色名呼称は被験者により強い認知的葛藤をもたらす。というのは「色名」と「単語の意味」との間で生じる認知的葛藤を解消すべく，より強い反応の制御が必要となるためである。ACCはこのような認知的葛藤が大きい場合にそれをモニターしている，つまり認知的葛藤場面での注意の制御にかかわるのではないかと考えられた。たとえば，単語の自動的な活性化を抑制して，そうすることによりインクの色を読み上げることを容易とするのに役立っていると考えられた。

同じようにSmith and Jonides（1999）は，ACCとDLPFCの活動をN-back課題を用いて比較している。彼等が工夫したのは，被験者が反応する刺激は目標となるターゲット語であるが，それにターゲット語が頻繁に使われる単語であるかどうかという変数を加えた点である。つまり，ターゲット語と頻繁に用いられる単語との間に認知的葛藤場面を設定したのである。彼等の予

想に反して，ストループ課題におけるような二つの領域の分離には成功しなかった。このことから，ACCの活動は，ストループ課題のような単語の意味が自動的に活性化をするような場面（preprogrammed activation）の抑制制御に特徴的であるのではないかと結論している。自動的に活性化した内容を抑制するにはより強い抑制が必要であると考えられる。ACCは，自動的に活性化された過程を抑制する必要がある場合に，その役割を分担しているものと考えられる。

このことを支持するように，ACCはgo, no-go課題などにおける抑制場面にも活動の高まりを見せることが報告されている（Braver, Barch, Gray, Molfese, & Snyder, 2001；Bush et al., 1998）。

このように，DLPFCは一貫した選択的注意の統御を担い，課題遂行に必要な「表象を維持する」機能をはたしていると考えるのである。一方，抑制する必要のあるものに対してACCがその機能を担っていると考えられるのである。

ワーキングメモリの個人差とその脳内機構

RSTやリスニングスパンテスト（listening span test：LST）を用いて，個人差の視点から中央実行系の脳内機構の探索が行なわれている（Osaka et al., 2003；Osaka, Osaka, et al., 2004）。

Osaka et al.（2003）ではLSTを用いた。LST条件では，文を聴いてその文の意味的な正誤判断をするとともに先頭の単語を保持しなければならない。そこで，LST条件と比較するために，単語を保持するだけの単語保持条件と，文を聴いてその正誤判断をするだけの条件を設定した。3つの条件における脳の活動をRSTの高得点群（RSTスパン得点が4.0から5.0までの被験者群）と低得点群（RSTスパン得点が1.5から2.5までの被験者群）の両グループ間で比較した。すると，行動データは単語保持条件と文の正誤判断条件では両群間の正答率に差異は認められなかった。しかし，LST条件では文の正誤判断には差は認められなかったが，単語の再生率は高得点群が低得点群よりも高く成績に差が認められた。

前頭前野の活動は，文の聴き取り条件，LST条件で増強が認められ，LST条件ではこの活動増強が一層顕著であった。また，この活動増強の程度は，グループ間で異なった。LST条件では，文を読むだけの条件に比較してDLPFCとACCの活動が増強したが，その活動増強は高得点群の方が顕著であった。

図1は，LST条件の高得点群（左図）と低得点群（右図）の脳の活動を水平面上で示している。それぞれの図の右側は前頭部位を左側は後頭部位を示し，上部が左半球，下部が右半球である。前頭前野のDLPFCとACCの活動が高得点群では一層増強しているのが特徴的である。

LST条件と聴き取り条件の信号変化率を算出

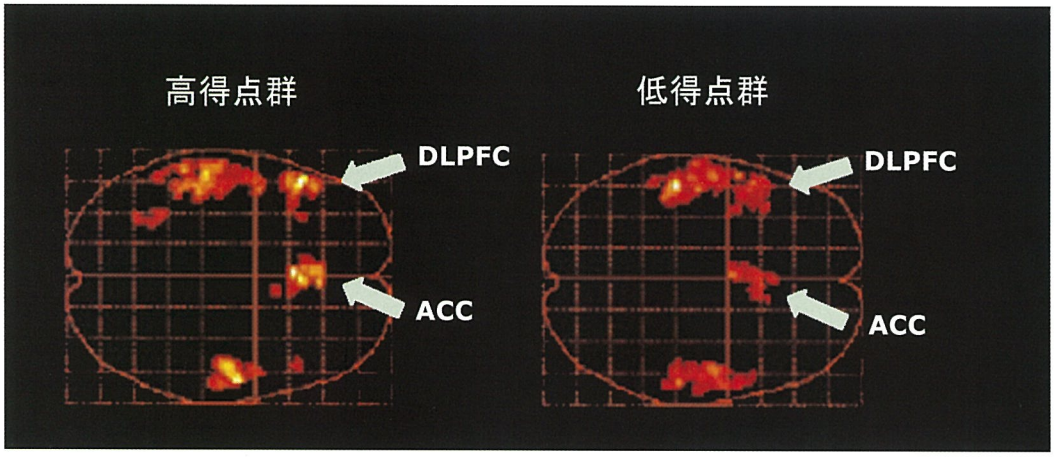

図1　LST遂行中の脳の活動領域（水平面上で示す）
左図は高得点群，右図は低得点群。図の上部は左半球，右側は前頭部を示す。

したところ，聴き取り条件に比較して，LSTでは信号変化率の上昇が認められた。この信号の増強は，DLPFCとACCの両領域に認められたが，いずれも高得点群の増強が顕著であった。さらに，DLPFCとACCの両領域におけるfMRI信号の変化の相関係数を求めたところ，高得点群の相関（$r=.82$）が低得点群（$r=.69$）に比較して高かった。

スパンタスクを遂行中の脳活動は，RSTについても測定された（Osaka, Osaka, et al., 2004）。そこでは，RSTと比較するために文を読んで正誤判断するだけの読み条件が設定された。RST条件では，文を読みながら単語が正確に保持されているかどうかを，プローブ単語の再認により確認された。行動データから，単語の再認率は高得点群が低得点群よりも有意に高く，両群で差が認められた。

fMRI解析の結果，RST条件ではACCとDLPFCで脳の活動増強が認められた。また，ACCとDLPFCの活動の増強は，低得点群に比較して高得点群で顕著であった。さらに，ACCとDLPFCの二つの領域間の信号の相関を算出したところ，相関係数は高得点群（$r=.92$）が低得点群（$r=.84$）より高く，両者の相関に差が認められた。このようにモダリティの異なるRSTでも，結果はLSTと同様であった。

研究結果から，スパンタスクの脳内機構については，DLPFCやACCを中心として制御されていることが明らかにされた。また，注意の制御機能は，両領域のネットワークに支えられているものと考えられる。両領域のネットワークが，スムーズなワーキングメモリのはたらきを引き出し，課題遂行を高めるものと考えられる。

図2にスパンタスクの遂行時の脳活動から予想される中央実行系の脳内表現を示す。図は，高得点群と低得点群の脳内機構の差を，DLPFCとACCおよび言語領域間のネットワークにおける差として示している。図が示すように，DLPFCとACCのネットワークが高得点群では緊密であるのに対して，低得点群ではACCの関与が少な

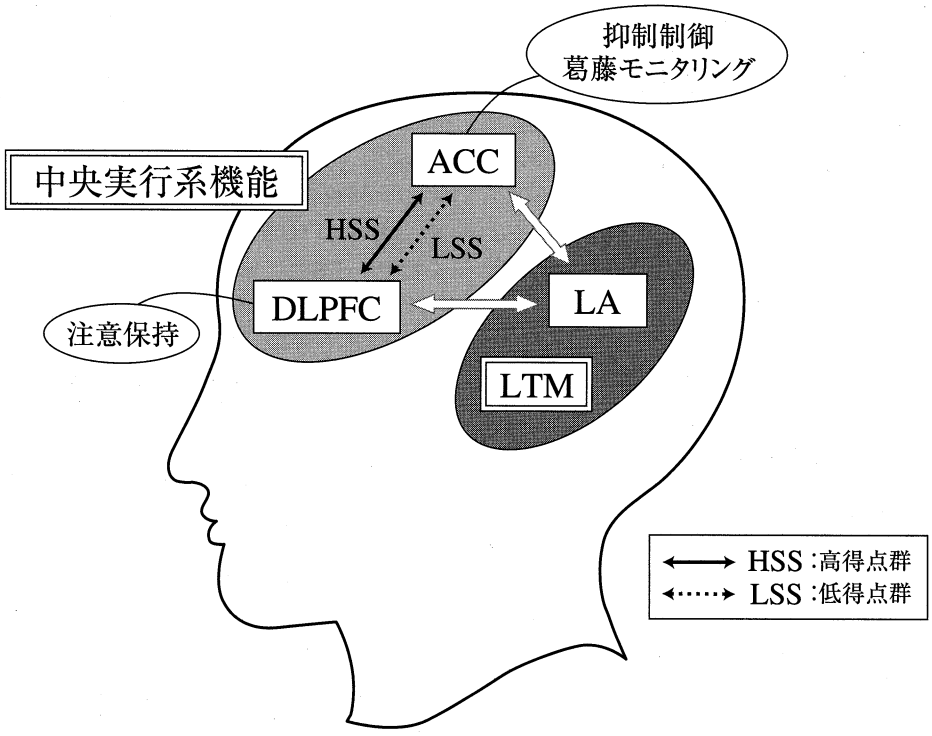

図2　ワーキングメモリの中央実行系の脳内表現。DLPFC，ACCと言語領域（LA）および長期記憶（LTM）との連携を示す。DLPFCとACC間のネットワークは，高得点群が低得点群よりも強いことを示している。

くDLPFCと言語領域間との連携が主である。

先に述べたようにACCは，認知的葛藤を「モニター」するなど，その信号をDLPFCに伝達することにより課題対処の微調整を行なっている。スパンタスクにおいても，このようなACCのはたらきが要求され，ACCがDLPFCとスムーズに調整を図ることができる高得点群において，遂行成績の向上に導かれるものと考える。

また行動データから，低得点群ではRSTの実施中に方略の使用頻度が低いこと，さらに方略の種類も高得点群に比較して少ないことが確認されている（西崎・苧阪，2000）。このことは，課題目標に対して，課題遂行に方略が必要であることを認知すること，さらに方略がうまく作用しているかどうかモニターすることなどのはたらきが重要であることを示唆していて，DLPFCとACCのネットワークにより，こうした課題目標に対処するワーキングメモリのはたらきを引き出し，より効果的な課題遂行を可能にしているものと考えられる。

DLPFCとACCのネットワークの強度が高得点群と低得点群で異なることは，他のスパンタスクを用いた検討からも検証されている。Kondo, Morishita, et al.（2004）ではOSTの遂行時に，Kondo, Osaka, and Osaka（2004）では空間スパンテスト（spatial span test, SST: Shah & Miyake, 1996）を用いて，高得点群と低得点群の脳活動を比較した。その結果，いずれもDLPFCとACCとのネットワーク強度は，高得点群が低得点群よりも強い結果が得られている。

スパンタスクと注意の制御

スパンタスクの遂行には，中央実行系の注意の制御はどのようにかかわるのであろうか。

RSTの遂行に要求される注意の制御機能については，抑制機能の重要性が指摘されている。そこでは，RSTで低得点にとどまる被験者は，課題遂行に関連しない情報をうまく抑制できないと考えられている（Conway & Engle, 1994; De Beni, Palladino, Pazzaglia, & Cornoldi, 1998; Engle, Conway, Tuholski, & Shisler, 1995）。

De Beni et al.（1998）は，RST課題において侵入エラーを測定したところ，文章理解の成績が劣る被験者は，刺激文のターゲット語以外の単語を報告する侵入エラーが多いことを指摘している。このような侵入エラーは，課題目標に必要のない単語をうまく抑制できないことから生起するものと推察され，RSTの成績が低得点にとどまるのは，課題遂行に当面必要のない情報を適切に抑制できないことが一因となっていると考えられた。さらに，文の代わりに単語を継時的に提示して，RSTと同様に最後の単語の保持を求めた。その際に，ある特定の単語（たとえば，動物の単語）に対して手で反応するなどして特定単語に注意を向けさせた場合には，注意を向けた単語（動物の単語）の侵入エラーが多くなることを指摘している。この結果は，彼等がひとたび注意を向けた対象を抑制できないことを示している。このことは，文章理解に抑制機構が必要なことを示唆していて，RSTにおいても同様に抑制機構が重要であることを示唆している。

文理解と抑制機能に関してはGernsbacher（1990）にも同様の報告がある。文章理解成績の高低二つの群について，特定の対象に注意を向ける課題の後で，プローブ刺激との関連性を判断させた。すると，文章理解が劣る群では抑制すべき対象との関連が高く，彼等が課題に不必要な情報をうまく抑制ができないことを示した。この結果は，文理解が劣る読み手は，文章理解に関連しない情報の抑制ができないことを推察させるものであった（Gernsbacher & Faust, 1991）。

他方，RSTには，注意のフォーカスを特定の対称に向けるとともに，それを適宜移行させることが重要である。RSTの遂行に必要となる文の読みにおいては，読み手は逐次的に目で追っている単語の意味を絶えず活性化するとともに，その語が文の理解に重要かどうかの判断を行なっていると考えられる。ひとたび特定の単語が文理解に重要な情報であると判断されると，すかさずそれを中心として心的な表象が構成されていく。というのは，すべての情報を並列的に活性化させるよりも，理解の中心となるフォーカスをつくりそれに必要な情報のみを選択的に吸収していくほうが，はるかに負荷が少なく効率的であると考えられるためである。このようなフォーカスの重要性は，RST遂行時にもそのままあてはまると考えられる。

RSTでは文を読みながら文末単語（日本語の場合は文中単語）を保持するというように，保持すべき内容が処理した内容と緊密に関連性がある。しかも，文末単語は，文を構成する一つの要素であって，OSTに用いられるような単なる一単語ではない。しかも，英文のRSTではターゲット語となる文末単語は，文のフォーカスを担う重要な単語であることが多い（Bolinger, 1986）。

このように，RSTにおける注意の制御には，注意のフォーカスと抑制制御が重要であると考えられる。

注意のフォーカスとその個人差

Osaka, Nishizaki, Komori, and Osaka (2002) は，RSTにおける注意制御の特徴を明らかにするため，注意のフォーカスと抑制機構について検討を行なった。そこでは文のフォーカスに着目してターゲット語との関係を変化させ，それがRST遂行にどのように影響するかを検討した。文のフォーカスとなる単語（フォーカス語）は，文のなかで理解の中心となる単語と定義された。

フォーカス語は，評定者により理解の中心となる単語として選択され，その評定結果から，フォーカス語としての同定が評定全体の70パーセント以上得られた単語を採用した。

評定により得られたフォーカス語を含む文からfocused RST（F-RST）とnon-focused RST（NF-RST）の2種類のRSTが作成された。表1に，F-RSTとNF-RSTの例を示す。

F-RSTは，文のフォーカス語をターゲット語（例文では，しみ）とした。一方，NF-RSTは，フォーカス語以外の単語をターゲット語（例文では，食べ物）とした。フォーカス語以外のターゲット語は，フォーカス語としての評定値が18%以下のものを採用した。F-RSTとNF-RSTはともに，ターゲット語の文内での出現位置は文章ごとにランダムとなるようにした。

表1　F-RSTとNF-RSTの例文

その子供は洋服に食べ物を落としてしみをつけた。 フォーカス
F-RST
その子供は洋服に食べ物を落としてしみをつけた。 ターゲット
NF-RST
その子供は洋服に食べ物を落としてしみをつけた。 ターゲット

ここでも日本語版RST（苧阪・苧阪，1994）のスパン得点が4.0以上の高得点群とスパン得点が2.0以下の低得点群との間で，2種類のRSTの遂行成績を比較した。

その結果，2種類のRSTの成績は，F-RSTに比較してNF-RSTでは単語の再生率が低下した。また，被験者群での成績の違いも認められ，低得点群が高得点群よりも成績の低下が顕著であった。

また，単語再生で出現したエラーの内容について，2種類のRSTと被験者群について比較した。同じ文内で出現したターゲット語以外の単語を報告した侵入エラーを対象とした。するとNF-RST条件ではF-RST条件に比較して，侵入エラー数が増加した。さらに被験者群間で侵入エラー数に違いが認められ，低得点群では，高得点群よりも侵入エラーの増加が認められた。

NF-RST条件での侵入エラーの特徴として，フォーカス語を誤って報告するエラーの出現が目立った。そこで，NF-RST条件での侵入エラーについて，フォーカス語を誤って再生しているエラー（focus intrusion，例文では，「しみ」を再生したエラー）とそれ以外のエラー（non-focus intrusion，例文のなかの，たとえば子供を再生したエラー）に分類した。すると，高得点群では，エラーの種類による差が認められなかったが，低得点群ではエラーの種類に差が認められ，focus intrusionが多いことがわかった。

このような結果から，文中のフォーカス語が記憶するべきターゲット語と一致する場合には，注意のフォーカスが一単語になるため，ターゲット語の再生が容易になるものと考えられた。

しかし，ターゲット語がフォーカス語と一致しないNF-RST条件では，ひとたびフォーカス語に向けた注意のフォーカスを，ターゲット語へと移行させる必要が生じてくる。そのことを裏付けるように再生時にターゲット語以外の単語を誤って報告する侵入エラーが増加した。しかも，その時の侵入エラーは，ひとたび注意を向けたフォーカス語を誤って再生してしまうfocus intrusionが生じてくるのが特徴であった。この時のfocus intrusionは，低得点群で特に目立っていた。

この結果は，低得点群は注意のフォーカスの移行がスムーズにできないことを示唆している。また，フォーカス語をうまく抑制できないことも一因と考えられ，低得点群では抑制機能がうまく作用しなかったものと推察される。

抑制機能に関しては先述のように，文章理解の成績の低い被験者では文章理解に関連しない情報の抑制ができないことが指摘されている（Gernsbacher & Faust, 1991）。しかし，低得点群がNF-RSTで抑制できないのは，Gernsbacher（1990）の指摘するような文章理解に関連しない情報ではない。NF-RSTでの侵入エラーは，フォーカス語すなわち文の理解に重要な情報だったのである。

これは，低得点群がフォーカス語の抑制に特に困難を示していることを示している。De Beni et al.（1998）は，文章理解の成績が低い被験者では，ひとたび注意を向けた対象を抑制することが困難であることを示している。彼らの指摘はNF-RSTでのfocus intrusionに類似している。

このように低得点群は課題目標に関連しない対象の抑制ができないのではなく，ひとたび注意を向けた対象の抑制ができないものと考えられる。

注意のフォーカスの脳内機構の探索

行動データからは，低得点群は注意のフォーカスの移行と抑制制御に困難を示すことがわかった。それでは，低得点群をこのような状態に導くのは，脳のどのような特徴によるのであろうか。

そこで，行動データで得られた注意のフォーカスの移行と抑制制御について，脳内機構の探索が行なわれた（Osaka, Komori, Morishita, & Osaka, 2004）。以下にその研究の概要を紹介する。

fMRIはF-RSTとNF-RSTの2条件で測定され，RST条件と比較するために文を読むだけのREAD条件も設定された。ここでも，高得点群と低得点群の群間の脳活動が比較された。RST条件，READ条件はいずれも5文が続けて提示された。RST条件では5文を読んだ後で，ターゲット語の再認が行なわれた。

fMRIデータは，文を読んで単語を記憶している時と，ターゲット単語の再認をおこなっている時との，それぞれの二つの区間ごとに分析され，それぞれの画像が作成された。

RST条件の二つの区間のfMRI画像にはともにDLPFCとACCに活動が認められた。さらに，文を読みながら単語を記憶している区間では，左半球の上頭頂小葉（superior parietal lobule, SPL）の活動増強が認められた。左半球のSPLの活動増強は，F-RST条件に比較してNF-RST条件では一層強まるのが確認された。しかも，SPLの活動増強にはグループにより差が認められ，NF-RST条件で左半球のSPLに活動増強が認められたのは高得点群であった。

図3に，F-RSTとNF-RSTのそれぞれの条件におけるSPLの活動を示す。脳画像での活動は，文を読みながら単語を記憶している区間の分析結果である。図に示すように，NF-RST条件では左半球のSPLの活動増強が認められ，しかもこの活動増強は低得点群に比較して高得点群に顕著であることがわかる。

ここで，両条件での注意の制御機構について考えてみたい。図4に，F-RST条件における注意の制御機構を示す。図のようにF-RST条件では，注意のフォーカスが保持すべきターゲット語と一致している。そこで，フォーカス語に向けた注意のフォーカスがそのままターゲット語に向けられることにより，ターゲットの心的表象が活性化されて，そのまま維持されることになる。

注意のフォーカスが向けられた対象は，強固な心的表象となり，再認の段階でも維持される。そこで，再認時に他の単語がフィラーとして出現しても，それにまどわされることはほとんどないのである。

図5には，NF-RST条件における注意の制御機構を，特に注意のフォーカスが向けられる対象を示す。NF-RST条件では，注意のフォーカスが1単語に向けられるわけにはいかない。注意のフォーカスがひとたび文のフォーカス語（しみ）に向けられたとしても，記憶すべきターゲット語はそれ以外の単語（食べ物）である。RSTの課題目標は，あくまでターゲット語を再認することであるので，被験者はフォーカス語に向けられた注意をターゲット語（食べ物）に移行させねばならない。この移行がうまくいかないと，再認時にたちまち二つの単語の間で葛藤を起こすことになる。

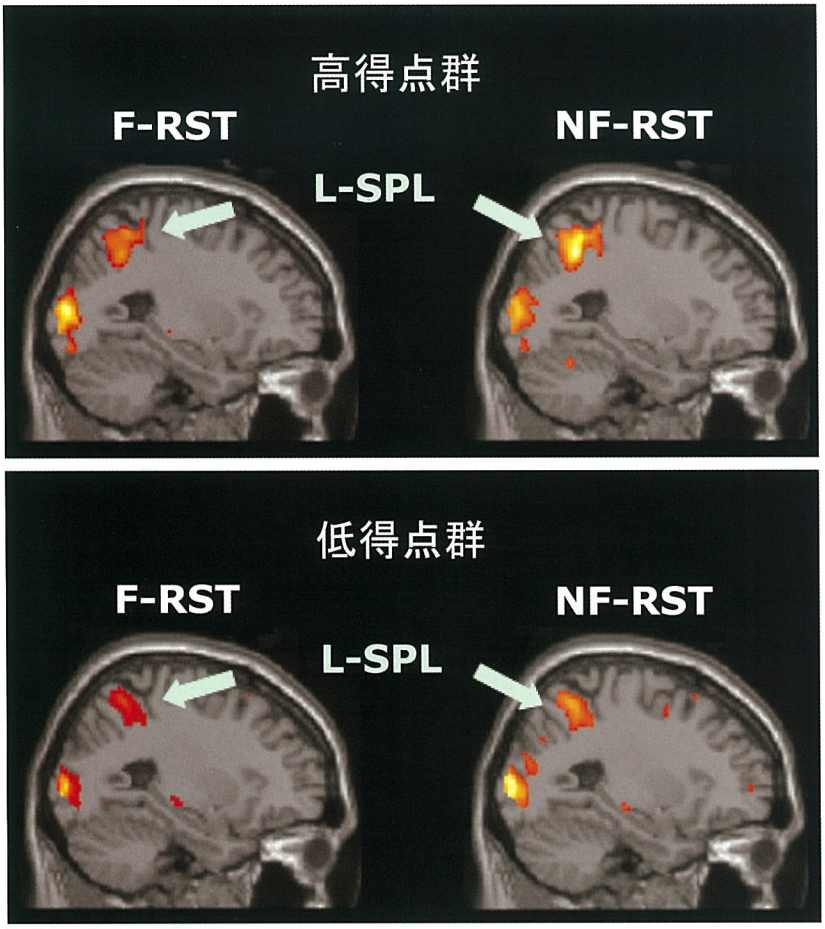

図3　F-RST と NF-RST 条件における SPL 領域での脳の活動。
文を読んで単語を記憶している時の区間を示す。上図は高得点群，下図は低得点群を示す。

単語を再認する区間では，SPL の活動には条件間の差が認められなかった。グループ間の差異も認められなかった。それに対して，ACC の活動が低得点群で高まりを見せた。ACC の活動は F-RST よりも NF-RST 条件で増強した。図6には，NF-RST 条件の再認時における ACC の活動を示す。図の右側が高得点群であり，左側が低得点群である。NF-RST の再認時には，ACC の活動が低得点群で増強しているのがわかる。

このような NF-RST 条件での再認時において認められた ACC の活動増強は，被験者が二つの単語間で葛藤を引き起こしていることをうかがわせる。ACC の活動増強は低得点群に特に顕著であり，低得点群が二つの単語間で強い葛藤に直面していることを示している。この時の葛藤は，あたかもストループ課題のように，抑制すべき単語の意味が自動的に活性化しているのと似ている。

葛藤を裏付けるように，低得点群では，侵入エラーが増加した。しかも彼等が再認した侵入エラーは，フォーカス語を誤再認する頻度が高かった。

一方，高得点群においては，ACC の活動増強は顕著ではない。というのは，高得点群は，文を読んでいる区間において SPL が駆動してターゲット語へと注意のフォーカスを移行しているのである。そのため葛藤に直面することも少なく，ACC の抑制作用も必要ではないものと推察される。

このような結果は，低得点群が注意のフォーカスをスムーズに移行できなくて，一度フォーカス

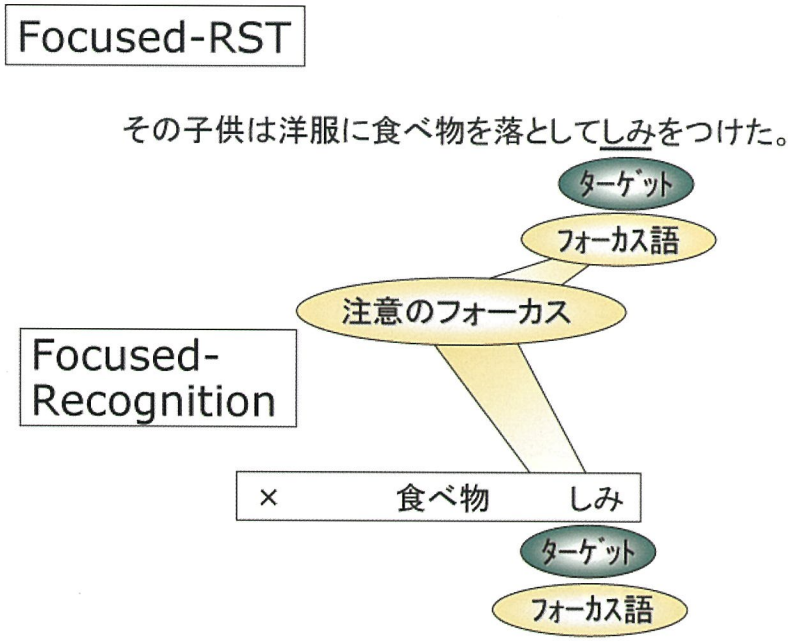

図 4　F-RST 条件における注意の制御

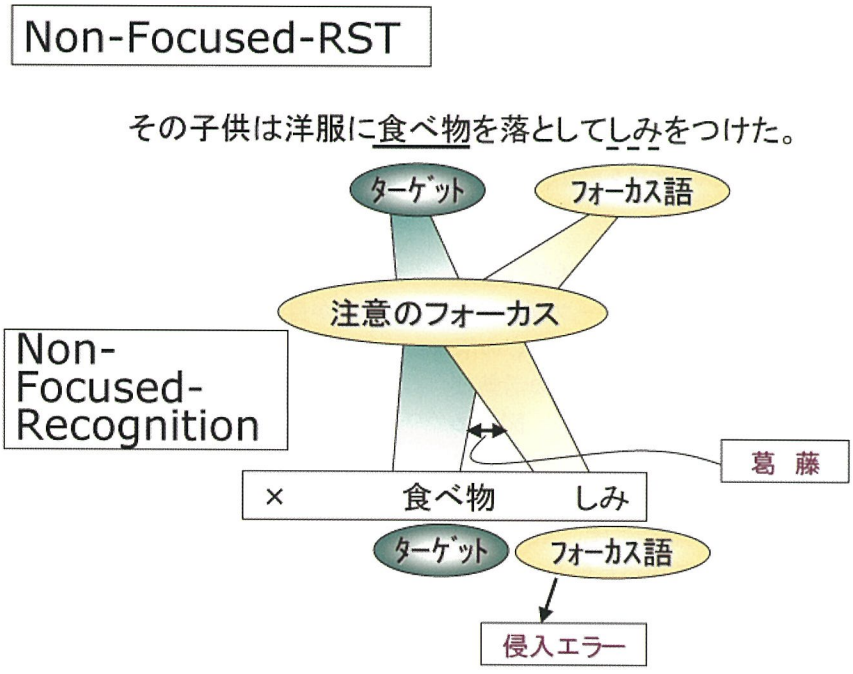

図 5　NF-RST 条件における注意の制御

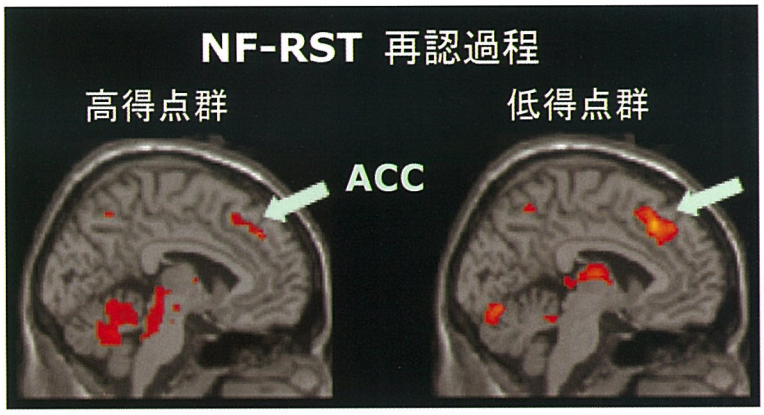

図6　F-RST と NF-RST 条件における脳の活動領域単語を再認している時の区間を示す。上図は高得点群，下の図は低得点群を示す。

を向けた対象の心的表象をそのまま引きずっていることをうかがわせる。

フォーカスと抑制の脳内表現

行動データから低得点群がフォーカスの移行に強く困難を示すことがわかったが，fMRI による脳活動からは，高得点群がフォーカスとその移行が必要となる状況において，左半球の SPL の強い活動を示していることが明らかとなった。このことから，高得点群は，フォーカスを移行することが必要である事態を敏感に察知して対応することができるものと考えられる。

一方，低得点群はフォーカスの移行が困難であるためか，あるいは移行に時間がかかるためか，それとも，フォーカスの移行が必要な事態を認知できていないためか，その後に続く再認時に困難を示している。

低得点群では，ターゲット語とフィラーであるフォーカス語を前にして，どちらがターゲット語であるか混乱を生じているのである。行動データのなかで低得点群の示した正答率の低下や，侵入反応の増加は，このような低得点群の対応により導き出されたものである。

図7に，ワーキングメモリの注意のフォーカスに関する脳内表現を示す。図のように，SPL が，ACC と DLPFC のネットワークにうまくはたらきかけることが重要なポイントである。SPL のはたらきが適切であれば，目標となるターゲット語に注意が移行することが可能となる。

ひとたび目標が定まれば，DLPFC によりターゲット語の保持に必要なレベルの活性化を維持することができる。RST では，複数の文についていずれもターゲット語のみを保持していかなければならないが，その過程では，適宜ターゲット語以外の情報を抑制する必要がある。このような抑制制御は，SPL が ACC と DLPFC とネットワークを駆動させることにより対処するものと思われる。さらに，課題遂行をモニターしながら，適切な方略の採用なども試みる必要がある。方略がうまく機能していない時には，新たな方略を採用することも必要である。

高得点群では，SPL の働きが適切であり，目標となるターゲット注意が移行して，DLPFC と ACC のネットワークをスムーズに駆動させることができるものと考えられる。

以上のように，RST の遂行には，注意の制御が重要であることが確認された。そこでは，課題目標に対して注意のフォーカスを向け，さらに新たな対象にフォーカス移行しつつ，不必要となったフォーカスを適宜抑制することが重要である。このような注意の制御は，SPL の駆動と DLPFC と ACC を中心としたネットワークを基盤として成立しているものと考えられる。

本稿では，RST や LST のような言語の情報処理を対象とする注意の脳内機構を中心に話を進めてきた。そこで，左半球の SPL，ACC および DLPFC に注目して検討してきた。しかし，右半

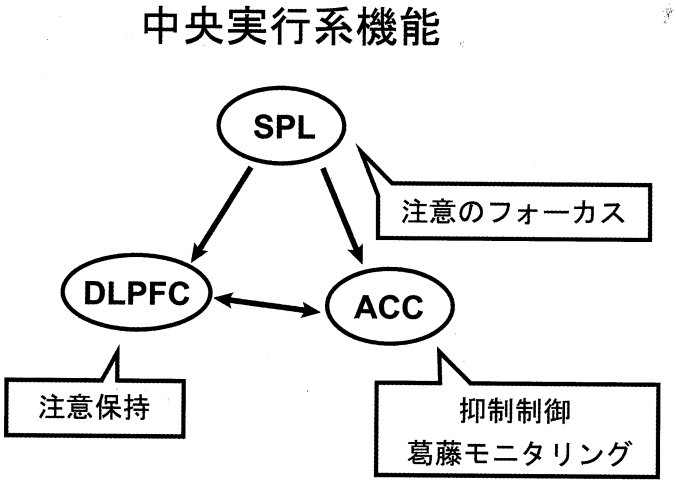

図7　注意のフォーカスと抑制機構の脳内表現

球の前頭前野が抑制機構に関与する研究結果も報告されている（Garavan, Ross, & Stein, 1999）。Osaka, Komori, et al.（2004）のデータにおいても，F-RST，NF-RSTの両条件ともにターゲット語の再認をしている区間において右半球DLPFCに活動の増強が認められた。これは，再認過程において，必要でないフィラー語を抑制する過程を反映していることが推察される。一方，右半球の前頭前野の活動が出来事の検索過程で出現する報告がなされている（Fletcher, Shallice, Frith, Frackowiak, & Dolan, 1998；Henson, Shallice, & Dolan, 1999）。このような研究結果を踏まえると，再認の区間における検索過程が右半球のDLPFCの活動を引き起こしている可能性もある。

また，近年は情動による影響が右半球の前頭前野の活動を引き起こすという指摘もある（Anderson et al., 2004）。本稿で紹介したACCは主に背側領域の活動であったが，それと近接する腹側領域は，情動語の提示によりその活動が引き起こされることが指摘されている（Bush, Luu, & Posner, 2000）。両領域が近接しているため，ワーキングメモリの課題遂行が，情動要因から影響を受けることが予想される。苧阪（2006）が情動を喚起させる文章を用いたRSTを統制文と比較したところ，遂行成績に差が認められた。そこで，このような視点からの更なる検討も望まれる。

最後に，SPL，DLPFC，ACCを中心とした脳のネットワークが中央実行系の脳内表現となり，高次認知機能を維持することがわかった。さらに，ネットワークを中心とした領域間の協調や競合が，中央実行系の注意のフォーカスや抑制制御の効率性を規定し，個人差の脳内表現となることもわかった。こうした領域間の協調がわたしたちの認知機能を支え，行動をスムーズに導くことをうかがい知ることができる。

文　献

Anderson, M. C., Ochsner, K. N., Kuhl, B., Cooper, J., Robertson, E., Gabrieli, S. W., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E.（2004）. Neural systems underlying the suppression of unwanted memories. *Science, 303*, 232–235.

Awh, E., Jonides, J., Smith, E. E., Schumacher, E. H., Koeppe, R. A., & Katz, S.（1996）. Dissociation of storage and rehearsal in verbal working memory: Evidence from positron emission tomography. *Psychological Science, 7*, 25–31.

Baddeley, A. D.（1986）. *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.

Baddeley, A. D.（1992）. Working memory. *Science, 255*, 556–559.

Baddeley, A. D. (1996). Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 49A*, 5–28.

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: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience, 4*, 829–839.

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. 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* (pp. 28–61). New York: Cambridge University Press.

Baddeley, A. D., Logie, R., Nimmo-Smith, I., & Brereton, R. (1985). Components of fluent reading. *Journal of Memory and Language, 24*, 119–131.

Bolinger, D. (1986). *Intonation and its parts*. Stanford, CA: Stanford University Press.

Braver, T. S., Barch, D. M., Gray, J. R., Molfese, L., & Snyder, A. (2001). A parametric study of prefrontal cortex involvement in human working memory. *Cerebral Cortex, 11*, 825–836.

Bunge, S. A., Klinberg, T., Jacobson, R. B., & Gabriel, J. D. E. (2000). A resource model of the neural basis of executive working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 97*, 3573–3578.

Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends in Cognitive Sciences, 4*, 215–222.

Bush, G., Whalen, P., Rosen, B. R., Jenike, M., Mclnerney, S. C., & Rauch, S. L. (1998). The counting stroop: An interference task specialized for functional neuroimaging-validation study with functional MRI. *Human Brain Mapping, 6*, 70–282.

Conway, A. R. A., & Engle, R. W. (1994). Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General, 123*, 354–373.

Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 62–101). New York: Cambridge University Press.

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.

Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review, 3*, 422–433.

De Beni, R., Palladino, P., Pazzaglia, F., & Cornoldi, C. (1998). Increases in intrusion errors and working memory deficit of poor comprehenders. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 51A*, 305–320.

D'Esposito, M., Aguirre, G. K., Zarahn, E., & Ballard, D. (1998). Functional MRI studies of spatial and nonspatial working memory. *Cognitive Brain Research, 7*, 1–13.

D'Esposito, M., Detre, J. A., Alsop, D. C., Shin, R. K., Atlas, S., & Grossman, M. (1995). The neural basis of the central executive system of working memory. *Nature, 378*, 279–281.

Duncan, J., & Owen, A. M. (2000). Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends in Neurosciences, 23*, 475–483.

Engle, R. W., Conway, A. R. A., Tuholski, S. W., & Shisler, R. J. (1995). A resource account of inhibition. *Psychological Science, 6*, 122–125.

Fletcher, P. C., Shallice, T., Frith, C. D., Frackowiak, R. S. J., & Dolan, R. J. (1998). The functional roles of prefrontal cortex in episodic memory: II. Retrieval. *Brain, 121*, 1249–1256.

Garavan, H., Ross, T. J., & Stein, E. A. (1999). Right hemispheric dominance of inhibitory control: An event-related functional MRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 96*, 8301–8306.

Gernsbacher, M. A. (1990). Less skilled readers have less efficient suppression mechanisms. *Psychological Science, 4*, 294–298.

Gernsbacher, M. A., & Faust, M. E. (1991). The mechanism of suppresion: A component of general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, memory, and Cognition, 17*, 245–262.

Henson, R. N. A., Shallice, T., & Dolan, R. J. (1999).

Right prefrontal cortex and episodic memory retrieval: A functional MRI test of the monitoring hypothesis. *Brain, 122*, 1367–1381.

Jonides, J., Smith, E. E., Koeppe, R. A., Awh, E., Minoshima, S., & Mintun, M. A. (1993). Spatial working memory in humans as revealed by PET. *Nature, 363*, 623–625.

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., & Keller, T. (1996). The capacity theory of comprehension: New frontiers of evidence and arguments. *Psychological Review, 103*, 773–780.

Kondo, H., Morishita, M., Osaka, N., Osaka, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2004). Functional roles of the cingulo-frontal network in performance on working memory. *NeuroImage, 21*, 2–14.

Kondo, H., Osaka, N., & Osaka, M. (2004). Cooperation of the anterior cingulate cortex and dorsolateral prefrontal cortex for attention shifting. *NeuroImage, 23*, 670–679.

久野 章 (1978) 談話の文法 大修館書店.

MacDonald, A. W., Ⅲ, Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, C. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science, 288*, 1835–1838.

Masson, M. E., & Miller, J. A. (1983). Working memory and individual differences in comprehension and memory of text. *Journal of Educational Psychology, 75*, 314–318.

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

西崎友規子・苧阪満里子 (2000) RSTの個人差 苧阪直行(編) 脳とワーキングメモリ (pp. 214–223) 京都大学学術出版会.

苧阪満里子 (2000) ワーキングメモリと言語理解の脳内機構 苧阪直行(編) 脳とワーキングメモリ (pp. 157–180) 京都大学学術出版会.

苧阪満里子 (2002) 脳のメモ帳：ワーキングメモリ 新曜社.

苧阪満里子 (2006) ワーキングメモリに及ぼす情動の効果 日本ワーキングメモリ学会抄録.

Osaka, M., Komori, M., Morishita, M., & Osaka, N. (2004). Neural basis of focusing in executive function of working memory: Comparing focused- and non-focused-RST. *Proceedings of the 2nd International Conference on Working Memory*, p. 16.

Osaka, M., Nishizaki, Y., Komori, M., & Osaka, N. (2002). Effect of focus on verbal working memory: Critical role of the focus word in reading. *Memory & Cognition, 30*, 562–571.

苧阪満里子・苧阪直行 (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.

Osaka, M., Osaka, N., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., Aso, T., & Shibasaki, H. (2003). The neural basis of individual differences in working memory capacity: An fMRI study. *NeuroImage, 18*, 789–797.

Osaka, N., Osaka, M., Kondo, H., Morishita, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2004). The neural basis of executive function in working memory: An fMRI study based on individual differences. *NeuroImage, 21*, 623–631.

Owen, A. M., Stern, C. E., Look, R. B., Tracey, I., Rosen, B. R., & Petrides, M. (1998). Functional organization of spatial and nonspatial working memory processing within the human lateral frontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 95*, 7721–7726.

Paulesu, E., Frith, C. D., & Frackowiak, R. S. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature, 362*, 342–345.

Perfetti, C. A., & Goldman, S. R. (1976). Discource memory and reading comprehension skill. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 15*, 33–42.

Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., & Evans, A. C. (1993). Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 90*, 878–882.

Rypma, B., Prabhakaran, V., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gablieli, J. D. E. (1999). Load-dependent roles of frontal brain regions in the maintenance of working memory. *NeuroImage, 9*, 216–226.

Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General, 125*, 4–27.

Smith, E. E., Geva, A., Jonides, J., Miller, A., Reuter-Lorenz, P., & Koeppe, R. A. (2001). The neural basis of task-switching in working memory:

Effects of performance and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 98*, 2095–2100.

Smith, E. E., & Jonides, J.(1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science, 283*, 1657–1661.

Smith, E. E., Jonides, J., & Koeppe, R. A. (1996). Dissociating verbal and spatial working memory using PET. *Cerebral Cortex, 6*, 11–20.

Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language, 28*, 127–154.

— 2006. 8. 19　受理 —