

注意制御の個人差がワーキングメモリに及ぼす影響

Effect of individual attentional control on working memory

研究代表者 京都大学大学院文学研究科 教授 苧阪直行

Kyoto University, Graduate school of Letters, Prof. Naoyuki, OSAKA

共同研究者 京都大学大学院医学研究科・教授 福山 秀直

Kyoto University, Human Brain Research Center, Prof. Hidenao FUKUYAMA

大阪外国語大学外国語学部・教授 苧阪 満里子

Osaka University of Foreign Studies, Faculty of Foreign Studies, Prof. Mariko OSAKA

千里金蘭大学人間社会学部 講師 小森 三恵

Senri Kinran University, Faculty of Human Society, Lecturer, Mie KOMORI

ミュンヘン大学・教授 Ingo Rentschler

University of Munich, Institute of Medical Psychology, Professor, Ingo RENTSCHLER

和文アブストラクト

われわれの日常生活において、高次な認知や行為のプランは注意によって制御されたワーキングメモリのはたらきによって効率的に営まれている。言語のワーキングメモリにはその記憶容量に厳しい制約があることや大きな個人差があることが知られている。本研究では、まず言語ワーキングメモリの記憶容量の測定法を確立した。つぎに、この測定法を用いて個人ごとのワーキングメモリ容量を測定した後、ワーキングメモリ容量の大きいグループと小さいグループに分け、機能的磁気共鳴画像法（fMRI）を用いて認知神経科学的な側面から、前頭葉におけるワーキングメモリ制御機構を検討した。その結果、注意制御の中央実行系の神経機構として前部帯状回(ACC)と左半球背外側前頭前野(DLPFC)のネットワークを想定し、このネットワークのはたらきがワーキングメモリの注意制御の個人差とかがわかることを明らかにした。

Abstract

Higher cognitive and behavioral plans are efficiently controlled by working memory function in everyday life. Verbal working memory has been known to have limited-capacity and large individual differences as well. We firstly, established the critical measuring method, called reading span test (RST) to evaluate the individual working memory capacity. Secondly, we investigated on the executive function, from the standpoint of cognitive neuroscience, in the prefrontal cortex for both high- and low-working memory capacity groups using functional magnetic resonance imaging (fMRI). Results showed that neural network connecting anterior cingulate cortex (ACC) and left dorsolateral prefrontal cortex (DLPFC) has a critical role in controlling individual's attentional control.

1 . 研究目的

ワーキングメモリ(working memory:作動記憶)は、現在進行形のアクティブな短期性の記憶であり行為とプランの遂行のために使われるが、その中核をなすのが注意資源の適切な割り振りを実行する注意の制御システム(executive system)である。このシステムは厳しい容量制約をもち、脳の前頭葉機能と深くかかわっていることが最近の研究で明らかになってきた。しかし、制御システムの脳内メカニズムはいまだよくわかっていない。

ワーキングメモリのはたらきは、暗算に例えると桁上がりの情報があれば、その情報を「活性化状態」に「保持」しながら、次々と暗算の計算を「処理」してゆく、「保持」と「処理」の同時的はたらきになぞらえることができる。処理と保持にはトレードオフ関係がある。つまり、両者は一定の注意容量またはワーキングメモリ容量を競合的に奪い合うのである。

本研究の目的はワーキングメモリの制御システムの働きをとくにその個人の脳内メカニズムを通して探ることである。制御システムは教育、福祉や医療とも密接にかかわっている。教育における学習や創発的思考にはワーキングメモリが深くかかわり、福祉では高齢者のボケなどワーキングメモリの障害とかかわっているが、その改善もワーキングメモリの脳内機構の解明なしでは進展しない。注意やワーキングメモリは複数の認知や行為を統合する役割も担っているため、処理すべき負荷が増加した場合、注意のオーバーフローが生じ、その結果がミス、事故や思考の混乱を誘発する原因の一つとなることは意外に知られていない。

2 . 研究経過

2.1 ワーキングメモリ測定法の確立

この制御システムの容量測定のため、日本語版の読みのワーキングメモリテスト(reading span test:RST)やオペレーションスパンテスト(OST)の開発と改善をおこない、fMRI 実験でも実施可能とした。RST や OST が比較的単純な手続きで実施可能となったことで、病院や高齢者でも用いることができる。また RST の聴覚版であり、fMRI でも使える聴覚 RST (Listening Span Test : LST)も開発した。既存の記憶検査(たとえば数字スパンテストや前頭葉障害の診断に用いられる WCST など)との相関もあることがわかった。数年にわたり蓄積してきたデータを整理比較し、さらにサンプルを増し標準化にもってゆくことがワーキングメモリの研究の進展と、RST (OST)利用者さらに障害をもつ児童生徒や患者さんの利益になると考えている。今後、RST および LST 関連データの蓄積を年齢、健常者、患者別に再整理し標準化を行いたい。とくに、今後高齢者向けのを鋭意開発してゆく予定である。

2.2 機能的脳画像 (fMRI) による制御機構の解析

図 1 にはワーキングメモリ課題下で行った脳画像を示す。(上は RST、下は OST を用いた結果である)。赤や黄色の領域はいずれも脳の活性化状態を示す。いずれのワーキングメモリ課題でも注意の制御システムには前頭前野(PFC)のとくに背外側領域(DLPFC)と前部帯状回(ACC)がかかわることが判明した。つまり、ACC-PFC の神経ネットワークが協調してワーキングメモリ課題の注意制御をおこなっていることがわかった。

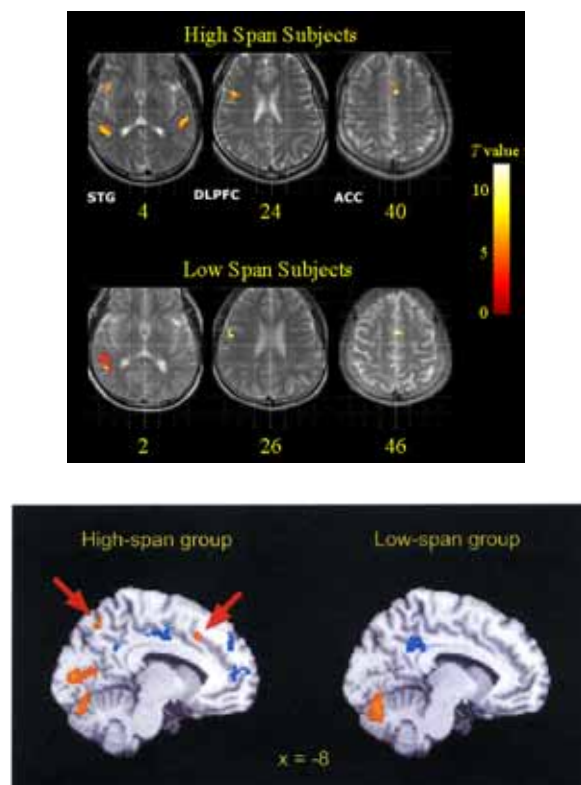


図 1

2.3 注意制御を担う脳内ネットワーク

図が示すように、このネットワークは高いワーキングメモリ容量の人 (high span subject-group) の方が低い人 (low span subject-group) より ACC の活動が高まる傾向が見られた。したがって、注意制御一般は ACC-DLPFC の脳内ネットワークの協調的活性化によって担われるが、その個人差はとくに ACC の活性化で説明できることがわかった。

2.4 実行系機能の個人差の検討

詳細な活性化信号強度の脳全体の画像解析を行い、さらに構造方程式モデリング解析によるネットワーク間のパス解析を行ったところ、個人差がネットワーク間の functional connectivity の重み係数で表現できることを見出し、個人差が係数の大きさの差として表現できることが初めて分かった。

2.5 応用研究への展開

この係数の評価を個人ごとに評価できれば、ワーキングメモリのオーバーフローの一因となる情報処理の過負荷に対する個人ごとの適応度が推定できると考えられる。教育面では創造的思考の育成や高齢者福祉ではボケや行為のし忘れなどの防止改善に大いに役立つと考えられる。高齢者のワーキングメモリの劣化によるボケについては、その改善法を現在継続的に研究中であるが、成果の公表までにはまだ2年ほどかかりそうである。さらに、交通安全など注意制御とかかわる問題では、注意の一時的機能不全によるミスが個人レベルでどの程度起こり得るかについての予測と評価ができそうである。

3 . 研究成果

3.1 個人差評価のためのワーキングメモリ測定法の有効性

個人ごとのワーキングメモリ容量測定法の確立は、さまざまな注意の有効配分の効率を推定するため今までになかった方法としてさまざまな領域で活用されるものと期待される。とくに今回の研究で、この測定法を用いて前頭前野の ACC-DLPFC ネットワークが発見されたことは大きな成果であると考えている。

3.2 個人差を考慮した注意制御の前頭葉ネットワーク

前頭前野における ACC-DLPFC ネットワークの構造方程式モデリング解析は、ネットワーク間のパス係数の重みによって個人差がモデルとして定量的に表現できることを明らかにした。このネットワークがさまざまなワーキングメモリ課題や attention-demanding 課題でどのように作動するかを検討することにより注意の制御シス

テムの脳内機構が明らかになってゆくものと期待される。

4 . 今後の課題と発展

今後の課題は、この結果をさらに社会還元するため、とくに認知的な不注意の生じる脳内機構を個人差をもとに研究することが最も重要であると考えられる。つねに、情報の過負荷の状態にある高度情報化社会では前頭葉のもっとも重要な機能であるワーキングメモリのはたらきやその効率的利用が急速に衰退に向かっている。とくに、携帯電話の高機能化による外部記憶の利用の進展が皮肉にもワーキングメモリの退化を生みつつあることは残念である。努力して容量制約のあるワーキングメモリを磨き、自ら育成してゆく訓練が廃れることによる損失は大きい。さらに人為的なミスの頻発は情報化社会の大きな落とし穴となってゆく可能性もあろう。教育の現場におけるパソコンの利用なども、それによって不利用になるワーキングメモリの機能劣化につながることも多く、創造的思考にも影響を及ぼしている可能性がある。注意の制御システムの脳内機構の解明を通してワーキングメモリの研究が進むことを期待している。

5 . 発表論文リスト

1. 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.
2. Kondo, H., Osaka, N.,& Osaka, M. 2004. Cooperation of the anterior cingulate cortex and dorsolateral prefrontal cortex for attention

shifting. *Neuroimage*, 23, 670-679.

3. Komdo, H., Morishita, M., Osaka, N., Osaka, M., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. Functional roles of the cingulo-frontal network in performance on working memory. *Neuroimage*, 21, 2-14.
4. 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.
5. Osaka, N. & Osaka, M., Striatal reward areas activated by implicit laughter induced by mimic words in humans: a functional magnetic resonance imaging study, *NeuroReport*, Vol.16(15), 1621-1624.
6. Hirose, N., Kihara, K., Tsubomi, H., Mima, T., Ueki, Y., Fukuyama, H. & Osaka, N., Involvement of V5/MT+ in object substitution masking: evidence from repetitive transcranial magnetic stimulation, *NeuroReport*, Vol.16(15), 491-494.