

認知過程におけるワーキングメモリの脳内メカニズムに関する基礎的研究

Basic study on the brain mechanisms of working memory during cognitive processing

研究代表者 大阪外国語大学外国語学部助教授 荻阪 満里子
Assoc. Prof., department of Foreign studies, Osaka University of Foreign Studies,
Mariko Osaka

共同研究者 岡崎国立共同研究機構生理学研究所統合生理研究施設教授 柿木隆介
National Institute for Physiological Science, Prof. Ryusuke Kakigi.

東京都神経科学総合研究所研究員 南部 篤
Tokyo Metropolitan Institute for Neuroscience, Research scientist, Atushi Nambu.

追手門学院大学助教授 石王敦子
Otemon Gakuin University, Assoc. Prof. Atuko Ishio.

京都大学情報処理教育センター助手 辻 斉
Kyoto University, Assistant, Hitoshi Tsuji.

Abstract

Working memory refers to memory processes involved in the simultaneous storage and processing of information. In language processing, a parallel system of storing and processing of incoming information is performed. In this study, the reading span test (LST), which evaluates individual differences in working memory capacity, was performed to investigate the brain mechanisms of verbal working memory. Magnetoencephalography (MEG) was performed and the peak alpha frequency of MEG shifted to higher frequency regions when the working memory demands increased. The results showed that the relatively wide areas covering the frontal and left temporal areas were likely activated by the central executive of verbal working memory.

4-1 研究目的

ワーキングメモリは、一時的な情報の保持機構であり同時に保持内容を統合する過程でもある。また、ワーキングメモリは、言語、思考、対象と空間位置の統合、さらには意識や注意などかかわる前頭葉の高次脳機能を基盤としてはたらき、認識と行動を束ね“脳とこころ”を統合するはたらきをになうものと考えられる。

さて、人間のワーキングメモリを考えるに際しては、読みの処理とかかわるワーキングメモリのはたらきが重要であると考えられる。読みは、処理と保持の並列処理が処理容量を競合しつつ調整し、

相互に促進して統合へと向かう特長をもっている。また、読み、さらには言語の情報処理は人間のみが操作しうる最も進化した脳における情報処理過程であり、人間のワーキングメモリのはたらきは言語の情報処理抜きには考えることができないと考えるためである。

本研究の目的は、人間の認知過程の基礎となるワーキングメモリの働きを、脳の生理学的基礎データから測定することにより、ワーキングメモリの脳内メカニズムの解明を行うことである。

当研究代表者は、言語の情報処理過程に注目してワーキングメモリの機能を脳波変化から探索することをやっている。しかし、脳内の局在をさらに

明確に検出するには、脳波以外にも測度が必要であると考えられる。そこで、本研究では、脳の活動状態の局在を知るのに非常に有効な脳磁場計測 (magnetoencephalography, MEG) を用いて、ワーキングメモリの脳内メカニズムを探索する。

4-2 研究経過

人間の認知機能とかかわるワーキングメモリを測定するテストであるリーディングスパンテスト(芋阪、芋阪 1994)を刺激としてワーキングメモリの脳内機構を探索する。ただし、実験上の制約から、ここでは、聴き取り形式の実験が必要なため、聴き取り形式のリスニングスパンテスト(LST)の開発がおこなわれた。LSTの例を表1に示す。

表1 LST 例文

文1	頭が痛かったので、私は救急箱からとりだした胃薬を飲んだ。
報告	NO
文2	フランス語を勉強するには、アメリカについて知ることが大切だ。
報告	NO
文3	満員電車の中で、中学生らしい男の子が老人に席を譲っているのを、みかけた。
報告	YES
解答	頭、フランス語、満員電車

リスニングスパンテストは、それぞれの文を聴きながら、その意味処理と同時に文中の特定の単語を保持していく課題である。刺激文はすべて聴覚呈示され、一文の聴き取り時間は約7秒であった。被験者が文の意味理解をしているかどうかのチェックのために、刺激文の中には意味的に正しい文とそうでない文が含まれていた。そこで、被験者は1文を聴き終える毎にその文の正誤判断を口頭で報告することを要求された。さらに、試行内の文について、文頭単語を記憶しなければならない。試行内の文の数は2文から5文まで増加した。文の数が多くなるほど保持しなければならない単語の数は増加してワーキングメモリの負荷は増加することとなる。

実験計画は、(1)聴き取りの過程での処理と保存関係を想定して開発されたリスニングスパンテスト

(LST)を用いて、MEG測定を行うことであった。さらに、MEG測定から、ワーキングメモリの脳内変化の発生源を推定することであった。

なお、LST条件の他に統制条件として単語の記憶負荷のない文の聴き取り(正誤判断を含む)条件も10文につき行われた。

4-3 研究成果

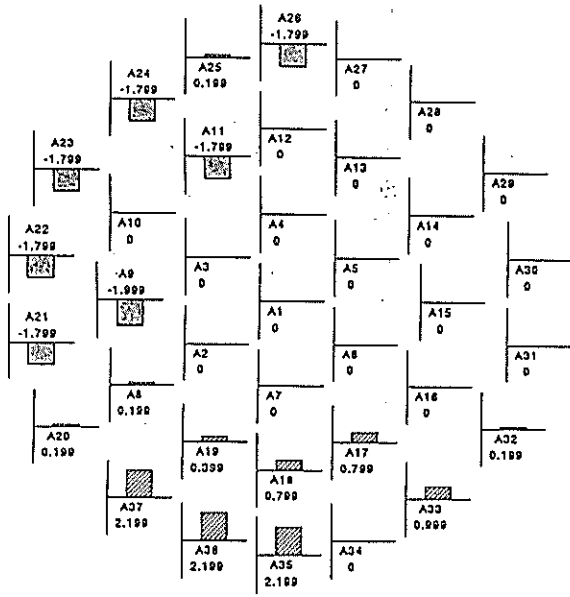
MEGからFFT分析により、MEGパワースペクトルを測定した。そのなかでも、アルファ波帯域(8-13Hz)のピークを検出してその周波数の測定をおこなった。そのため、左右半球それぞれ37部位のMEG(74部位)について、ピークの検出プログラムの開発を行った。

結果、ピーク周波数はLST条件では統制条件よりも高い周波数の方向へ移行する傾向が認められた。そこで、両条件のピーク周波数の値を求め、統制条件とLST条件の差を求めた(これを shift value と呼ぶ)。このピーク周波数の移行を分析するソフトの開発を行い、さらに、ピーク周波数の shift value の図表示ができるようにした。

図1に High span subject (LST得点が高い被験者)の shift value の結果を示す。この場合の shift value は、コントロール条件と5文条件の差である。MEGは左半球から導出した記録である。図の左側は、前頭方向、右側は頭頂、上側は前頭中心方向、下側は左耳近傍の前側頭部位にあたる。図のゼロ点以下のドット棒グラフは、ピーク周波数が5文条件でより高い周波数の方向に shift していることを示している。また、図から、shift は前頭中心領域に最も顕著であることがわかる。

図2に Low span subject (LST得点が高い被験者)の shift value の結果を示す。この場合の shift value は、コントロール条件と2文条件の差である。図から、shift は前頭中心領域に認められる。しかし、Low span subject では3文以上の負荷の大きい条件ではこのような shift が認められない。

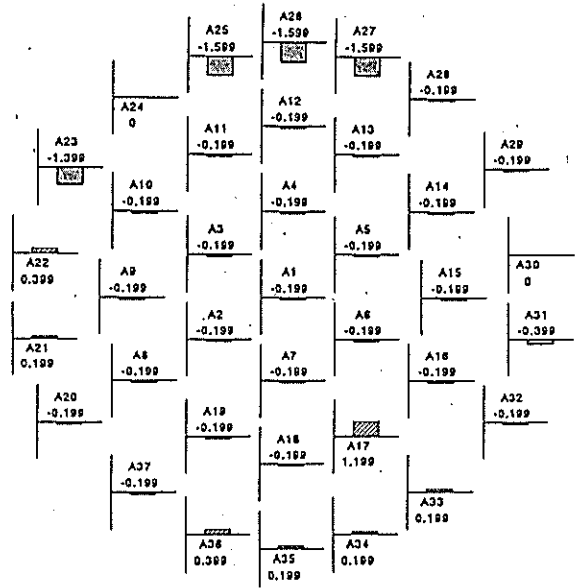
このように、ワーキングメモリの負荷が強くなると、脳磁場のアルファ波ピークが高い周波数の帯域に出現する傾向がみられた。ただし、このようなアルファ波ピーク周波数の変化傾向は、ワーキングメモリ容量の個人差により影響を受けることがわかった。LST高得点を得た被験者では4文5文で移行が顕著であるが、LST低得点の被験者では、2



[5-Sentence LST] - [Control]

図1 アルファ波ピーク

周波数shift value. High span subjectの5文LSTと統制条件の差



[2-Sentence LST] - [Control]

図2 アルファ波ピーク

周波数shift value. Low span subjectの2文LSTと統制条件の差

4-4 今後の課題と発展

文のみでしか移行が認められないこともあり、脳内変化は、個人のワーキングメモリ容量の差に依存することが示唆された。

さらに、この移行傾向はおもに左半球の側頭部、前頭部位に認められた。右半球でも、移行は認められるものの、移行値も小さくまた、移行部位も左半球に比較して少ない傾向がみられた。

これは、言語情報処理に関わるワーキングメモリに関して、左半球の側頭部、前頭部位にかけて、負荷に伴う脳内処理の変化が生起していることを示唆するものと考えられた。

このような結果を踏まえて、MEGのアルファ波のsource(発生源)の推定を行った。そこでは、分析ソフトの開発、さらに、MEGのアルファについてsource(発生源)の推定のため、極(dipole)の分析と推定さらにMRI画像との重ね合せを試みた。その結果、LST試行時のアルファ波のsource推定が得られた被験者では、上側頭回一次聴覚野から言語野(Wernicke's area)とその周辺に出現することがわかった(図3に示す)。

本研究では、MEG実験の他にも事象関連電位を用いて、言語処理にかかわるワーキングメモリの脳内メカニズムの研究を実施した。そこでは、先行単語によるプライミング効果の大きさを、ワーキングメモリの個人差の視点から分析した。この結果、意味的関連条件に比較して、意味的非関連条件では刺激提示後に、潜時約400msecに負方向に電位(N400)の増加が認められた。しかし、この負方向の電位の大きさは被験者により差が認められた。電位の増加はワーキングメモリ容量の大きい被験者に大する傾向が認められた。さらに、このN400は、前頭部位を中心に顕著に出現した。

さて、ワーキングメモリの研究は、人間の認知過程の特性に関する理解を深めるためにも重要であると考えられ、多領域から急速に関心を集めつつある。本研究によるワーキングメモリの脳生理学的な基礎データは、人間の言語理解の過程を知る上で重要である。というのは、ワーキングメモリ容量の個人差は、言語の処理にも大きく影響すると考えられるためである。例えば、言語障害のメカニズムを考える上でもワーキングメモリの理解

は重要であり、特に読み書き障害の機能解明にも寄与するものと考ええる。今後は、言語と比較的独立した非言語処理にかかわるワーキングメモリの解明も必要となるであろう。

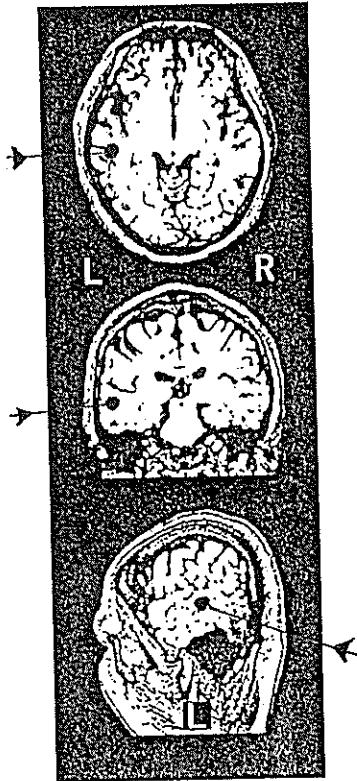


図3 5文条件のα波のダイポール推定

4-5 発表論文リスト

- * Osaka, M., Osaka, N., Koyama, S., Okusa, T., & Kakigi, R., 準備中 Individual differences of working memory and the peak alpha frequency shift magnetoencephalography.
- * 荻阪満里子, ワーキングメモリと言語理解の脳内メカニズム. 心理学評論, 1998, 41, 174-193.
- * Osaka, M., & Osaka, N. 1998 Neural correlates of working memory. Consciousness research abstracts: Toward a science of consciousness, Tucson III, 84
- * Osaka, M., 1998, Individual differences in working memory associated with event-related

potentials (ERPs). The sixth international evoked potentials symposium, abstract, p.48

* Osaka, M., 1998, Effect of working memory load on the peak alpha frequency shift measured with magnetoencephalography. In Y. Koga, K. Nagata, & H. Hirata, (Eds), Brain topography today. Amsterdam, Elsevier, P.167-172

* 荻阪満里子, 1997, 言語とワーキングメモリ失語研究, 17, 134-139.

* 荻阪満里子, 三雲真理子. 1997, 音楽とワーキングメモリ; 音楽リスニングスパンテストについて, 日本心理学会 61 回大会発表論文集, 830

* 荻阪満里子, 1997, ワーキングメモリ容量と日本語の読み: ムービングウィンドウによる検討: 日本神経心理学会第 21 回予稿集, 53

* 荻阪満里子, 大草知裕, 1997, ワーキングメモリ容量の個人差と語彙アクセス; 事象関連電位のトポグラフィによる検討, 日本生理心理学会15回大会抄録

* Osaka, M., 1997, Working memory and working brain; The changes of Peak alpha frequency of magnetoencephalography (MEG) during the performance of verbal working memory. Pan-Pacific conference on brain topography, III, Abstracts, p.38

* Osaka, M., Osaka, N., Koyama, S., & Kakigi, R., 1996, Neuro-imaging of higher brain functions (I): A MEG(magnetoencephalography) - based working memory analysis. International Journal of Psychology, 31,20.

* Osaka, M., & Osaka, N., 1996, Working memory and working brain. International Journal of Psychology, 31, symposium

* 荻阪満里子, 1996, 認知過程におけるワーキングメモリの脳内機構: 同時通訳過程での検討, 日本生理心理学会第 14 回大会抄録, 16.

* Osaka, M., Osaka, N., Koyama, S., Nambu, A., Nakatani, K., & Kakigi, R., 1995, Peak alpha frequency of magnetoencephalography (MEG) changes during the performance of verbal working memory tasks. Electroencephalography and clinical Neurophysiology, 97, s123

* 荻阪満里子, 荻阪直行, 小山幸子, 南部篤, 中谷和夫, 柿木隆介, 1995, 脳磁場計測(MEG)によるワーキングメモリの脳内機構に関する研究, 日本心理学会第59回大会論文, p.782.