

氏 名	もり した まさ なお 森 下 正 修
学位の種類	博 士 (文 学)
学位記番号	文 博 第 327 号
学位授与の日付	平 成 17 年 7 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	文 学 研 究 科 行 動 文 化 学 専 攻
学位論文題目	ワーキングメモリにおける処理と保持 ——注意のメカニズムからのアプローチ——

論文調査委員	(主 査) 教 授 学 阪 直 行	教 授 櫻 井 芳 雄	助教授 齊 藤 智
--------	----------------------	-------------	-----------

論 文 内 容 の 要 旨

ワーキングメモリ (working memory) は人間の high cognitive activity を支える重要な記憶システムである。本論文は、ワーキングメモリの機能を個人差およびその神経基盤の面から総合的に検討している。

Baddeley (1986) によって体系化されたワーキングメモリのモデルは、処理と保持という 2 つの心的過程を組み込んだ二重課題法 (dual task method) を用いて、多くの研究者によって検討されてきた。

本論文は、ワーキングメモリの課題内容の探求を軸にして、その背後にあるワーキングメモリの個人差、およびその神経基盤について検討を加えている。

第 1 章は序論であり、短期記憶の概念からワーキングメモリの概念が誕生した背景が述べられている。

第 2 章では、言語的なワーキングメモリ課題であるリーディングスパンテスト (RST) を取り上げ、そこに含まれる処理と保持の内容に関して問題点を指摘している。RST は刺激文の音読をしながらターゲット語を保持記憶するというワーキングメモリ固有の二重課題である。ここでは RST における保持作業は読解力を予測する上で重要であるが、処理作業に関しては文の音読という言語的な性質のものである必要はないとの説 (Turner & Engle, 1989) についてその妥当性を実験的に吟味している。

実験では、RST の刺激文の文脈に合致した語としない語を記憶させる条件を比較し、処理作業の対象である刺激文の性質によって RST 成績が変化するかどうかを検討されている。その結果、通常の RST で成績の高い被験者群 (高スパン群) は成績の低い被験者 (低スパン群) より合致しない語の条件で成績が低下し、両スパン群の間には成績差がなくなることがわかった。つまり、通常の高スパン群の成績が低スパン群よりも良いのは、RST における一般的な言語処理作業が通常の文処理に似通っていることによるとの可能性が示された。

しかし、RST においては文脈と合致した語を記憶するのが通常の形式であり、合致しない単語を記憶するという条件は特殊である。言語処理作業が RST に対して重要な測定内容となっていることを裏づけるならば、通常の RST と比べて言語処理作業がより有効となる状況での成績について確認しなければならない。

第 3 章では、通常の RST と同様の条件と、より言語処理作業が有効となる条件を設けて、その成績の変化を読解力との相関の点から実験的に検討している。結果を予測する上で、RST における言語処理作業を重視するワーキングメモリモデル (Ericsson & Kintsch (1999) の長期ワーキングメモリ仮説) と重視しないモデル (Engle et al. (1999) の貯蔵+制御機能仮説) とを対置させて検討がなされた。長期ワーキングメモリ仮説は、RST における言語処理作業が文章読解過程と類似していることが読解力との間の相関を支えていると見なす立場であり、言語処理作業が有効となる条件の RST 成績が読解力との間に高い相関を有すると予測される。反対に、貯蔵+制御機能仮説は Turner & Engle (1989) のように RST における言語的な処理作業を重視しない仮説である。この説では、RST に含まれる保持作業とそれらを適切にはたかせるための注意の制御能力という 2 つの成分が反映されているために、RST 成績は読解力との間に高い相関を有すると考えら

れているのである。この仮説では長期ワーキングメモリ仮説による予測とは逆に、注意の制御機能が必要とされるような条件の RST 成績が読解力との間に高い相関を示すと予測される。

検討した実験の結果、読解力との間で高い相関が認められたのは Engle et al. (1999) の仮説に合致した条件の RST 成績であった。つまり、より注意の制御が必要と見なされる条件の方が読解力との間の相関が高いとの結果になった。以上より、RST において主要な測定内容となっている心的過程が、情報の保持と注意の制御という 2 つの能力であることが推定できることが示唆された。

第 4 章では、注意と情報保持に関するワーキングメモリ研究に関する論議を行っている。ここでは当面かかわりの深いワーキングメモリにおける情報の保持量に対する注意の直接的な影響を論議している。とくに、Cowan (2001) の短期記憶およびワーキングメモリのモデルに基づく議論を土台として論議が進められている。Cowan の理論によると、短期記憶の情報保持量はおおよそ 4 チャンクであり、その保持量を規定するのは注意の焦点に含むことのできる情報量であるとされる。また、注意の焦点に含まれる情報とは、その人が意識している情報と同義であるとも述べられている。こうした考えに従えば、ワーキングメモリで求められる処理作業でまさに処理中の情報も、注意の焦点に含まれる必要があると考えられる。したがって、ワーキングメモリで保持し得る情報量は注意の焦点の容量 (4 チャンク) から処理作業に必要な情報量を差し引いたものであるとの仮説を立てることができると考えた。

さまざまなワーキングメモリ課題を用いた実験の比較の結果、この仮説がほぼ妥当なものであることが判明した。各種のワーキングメモリに課題において、ワーキングメモリにおける情報の保持量はおおよそ 3 チャンクで共通していると考えられること、およびそうした保持量は、処理作業に必要な情報量の影響を受けて変動していることを見出している。これを受けて、ワーキングメモリの保持量がおおよそ 3 チャンクといえるかどうかを確かめる実験を行っている。

実験課題としては、オペレーションスパンテスト (OST) を用いた。これは、数式の正誤判断を行いながらターゲット語を記憶するという二重課題である。この課題を採用したのは、言語情報同士の干渉の効果が記憶成績に影響を与える可能性が低いと考えられたためであった。実験では、OST のターゲット語間の意味的関連性を操作し、互いに意味的な関連がない条件と関連する条件を設けた。関連性のない単語は、二重課題という制約的状况下ではチャンクが形成される確率が低いため、こうした単語はひとつひとつが独立のチャンクとなって注意の焦点を占めると思われる。実験の結果、意味的関連のない条件における報告数は平均 3.28 となり、ワーキングメモリにおける保持量がおおよそ 3 チャンクであることを支持するデータとなった。

第 5 章では、ワーキングメモリのはたらきを支える神経基盤について検討している。ワーキングメモリのモデルにおいて、注意の制御を行っているのは中央実行系であることが想定されている。実行系機能に関しては、人の脳の前頭前野背外側部 (DLPFC) との関連が指摘されているが、この章では、fMRI (機能的磁気共鳴画像法) を用いたニューロイメージング研究を行い、実行系機能のひとつとされる情報の更新作業が、DLPFC も含めた複数の脳部位の活動によって支えられていることを明らかにしようとしている。とくに、先行研究において考慮されてこなかった、更新の 2 つの下位過程 (情報の置き換え (replacing) と情報の並べ替え (reordering)) を担う脳部位の異同について検討した。実験条件としては、情報の置き換えのみで遂行可能な条件と、置き換えと並べ替えの両方が必要となる条件を設定している。

課題条件ごとの脳の活動部位を測定し、併せて、条件間の差の成分を抽出する統計処理を実施した結果、情報の置き換えは主にリハーサルに関連する部位 (補足運動野や下頭頂葉) を活性化させていた。また、部位間の結合を分析した共分散構造分析 (SEM) の結果でも、DLPFC は情報の置き換えよりも、並べ替えとかかわっていることが見出された。この結果から、情報の並べ替えには DLPFC のはたらきが不可欠であること、および、情報の更新が実行系機能のひとつとして見なれることが明らかになった。

以上に見たように、本論文は、ワーキングメモリにおける処理と保持がどのようなシステムに支えられているかという問題について、注意のメカニズムという観点から検討するとともに、その神経基盤を検討している。ワーキングメモリの機能面では情報の保持と注意の制御が特に重要な役割を果たしていることが示唆された。しかし、情報の保持と注意も決して単純に区別できるものではなく、注意の焦点に含まれる情報量が、ワーキングメモリにおける保持量を一定の範囲に制約するという関係があることがわかった。それと同時に、処理作業もまた、ワーキングメモリにおける情報の保持に、注意の焦点

に含まれる情報量という形で、強い影響を与えていることが確認された。最後に、そうしたワーキングメモリの機能を支える神経基盤として、DLPFCが他の部位との間の機能的なネットワークをもとに重要な役割を果たしていることを示した。

論文審査の結果の要旨

ワーキングメモリ (working memory) は人間の高次認知活動を支える重要な記憶システムである。本論文は、思考や理解などの高次認知過程に果たすワーキングメモリの役割を精緻に検討し、とくに、情報の処理と保持が切り離せない関係にあることを明らかにしたものである。処理と保持のダイナミックスを制御する注意のメカニズム (実行系機能) の検討を中心に、最新の認知脳科学的アプローチも取り入れ、新しいオリジナルなワーキングメモリのモデルの構築に成功を収めている。

第1章では、ワーキングメモリの概念がどのようにして、短期記憶の研究から誕生したのかについて歴史的な背景が述べられている。

第2章では、言語的なワーキングメモリ課題 (二重課題) であるリーディングスパンテスト (RST) を取り上げ、そこに含まれる処理と保持の内容に関して問題点を整理している。RSTにおける保持の問題については、読解力などを予測する上で重要であるが、処理の問題に関しては文の音読である必要はないと考える先行研究 (Turner & Engle, 1989) がある。論者はまずその妥当性を、RSTの個人差の問題を通して吟味している。

第3章では、問題点を整理し、通常のRSTと同様の条件と、より言語処理作業が有効となる条件を設けて、その成績の変化を読解力との相関の点から実験的に検討している。さらに、RSTにおける言語処理作業を重視するワーキングメモリモデル (Ericsson & Kintsch (1999) の長期ワーキングメモリ仮説) と重視しないモデル (Engle et al. (1999) の貯蔵+制御機能仮説) を対置させて検討がなされた。長期ワーキングメモリ仮説は、RSTにおける言語処理作業が文章読解過程と類似していることが読解力との間の相関を支えていると見なす立場であり、一方、貯蔵+制御機能仮説はTurner & Engle (1989) のようにRSTにおける言語的な処理作業を重視しない仮説である。この説では、RSTに含まれる保持作業とそれらを適切にはたらかせるための注意の制御能力という2つの成分が反映されているために、RST成績は読解力との間に高い相関を有すると考えられているのである。もしこの仮説が正しいとすれば、長期ワーキングメモリ仮説による予測とは逆に、注意の制御機能が必要とされるような条件のRST成績が読解力との間に高い相関を示すと予測される。

実験的に検討した結果、読解力との間で高い相関が認められたのは貯蔵+制御機能仮説に合致した条件のRST成績であった。つまり、論者は、読解力の規定要因は注意の制御にあることを、RST課題を用いて初めて明らかにしたのである。

第4章では、注意と情報保持に関するワーキングメモリ研究に関する論議が詳細に整理され、保持量に対する注意の直接的な影響を検討している。とくに、Cowan (2001) の短期記憶およびワーキングメモリのモデルに基づいて深い考察が進められている。Cowanの理論によると、短期記憶の情報保持量はおおよそ4チャンクであり、その保持量を規定するのは注意の焦点に含むことのできる情報量であるとされる。この考えに従えば、ワーキングメモリで求められる処理作業で処理中の情報も、注意の焦点に含まれる必要があると考えられる。したがって、論者はワーキングメモリで保持し得る情報量は注意の焦点の容量 (4チャンク) から処理作業に必要な情報量を差し引いたものであるとの新たな理論を立てることができると考えた。

様々なワーキングメモリ課題を用いた実験結果の比較検証の結果、この理論がほぼ妥当なものであることが判明した。各種のワーキングメモリに課題において、ワーキングメモリにおける情報の保持量はおおよそ3チャンクで共通していると考えられること、およびそうした保持量は、処理作業に必要な情報量の影響を受けて変動していることが新たに示唆されたのである。

そこで、ワーキングメモリの保持量がおおよそ3チャンクといえるかどうかを確認する実験を行っている。実験課題としてはオペレーションスパンテスト (OST) を用いている。これは、数式の正誤判断を行いながらターゲット語を記憶するという二重課題である。OSTのターゲット語間の意味的関連性を操作した実験で、チャンク数は平均3.28となり、ワーキングメモリにおける保持量がおおよそ3チャンクであるとする論者の理論を支持するデータを得ている。

第5章では、ワーキングメモリのはたらきを支える神経基盤について検討している。多くのワーキングメモリのモデルに

において、注意の制御を行っているのは中央実行系であることが想定されている。実行系機能に関しては、人の脳の前頭前野背外側部（DLPFC）との関連が指摘されているが。この章では、fMRI（機能的磁気共鳴画像法）を用いたニューロイメージング研究を行い、実行系機能のひとつとされる情報の更新作業が、DLPFC も含めた複数の脳部位の活動によって支えられていることを明らかにしている。とくに、先行研究において考慮されてこなかった、情報更新の2つの下位過程（情報の置き換え（replacing）と情報の並べ替え（reordering））を担う脳部位の異同について検討がなされている。実験条件としては、情報の置き換えのみで遂行可能な条件と、置き換えと並べ替えの両方が必要となる条件が設定されている。

課題条件ごとの脳の活動部位を測定した結果、情報の置き換えは主にリハーサルに関連する部位（補足運動野や下頭頂葉）を活性化させていることを見出している。部位間の結合を分析した共分散構造分析（SEM）の結果、DLPFC は情報の並べ替え条件をはじめ他の多くの活動に対して有意な影響を与えていることが新たに見出された。情報の並べ替えを含む、情報の更新一般がワーキングメモリにおける実行系機能のひとつとして重要な機能をもつことが、その神経基盤から明らかにされたといえる。

以上に見たように、本論文は、ワーキングメモリにおける処理と保持が実行系としての注意のメカニズムに支えられているという新たな知見を、実験心理学と認知脳科学の両面から精緻な検証プロセスを経て明らかにしており、オリジナリティーの極めて高いものである。とくに、保持を支える注意メカニズムの重要性、および3チャンクという容量制約の理論的予測とその実験的検証は、新たなワーキングメモリ研究の展望を開く業績といえ、非常に高く評価できる。さらに、情報更新とかかわる前頭前野の脳領域の同定も、これまでの先行研究では明らかにされなかった新発見であり高く評価できる。今後の研究のさらなる発展に大いに期待したい。

以上、審査したところにより、本論文は博士（文学）の学位論文として価値あるものと認められる。なお、2005年5月9日に調査委員3名が論文内容とそれに関連した事項について口頭試問を行った結果、合格と認めた。