

学位論文題名

中央実行系におけるワーキングメモリ容量と
抑制機能に関する心理生理学的研究

学位論文内容の要旨

人間にとってこれまでの経験や知識を蓄えている長期的な記憶が重要であることは自明であるが、近年ではより短期的な記憶が学習や認知を支える根幹となっていることが知られてきた。短期的な記憶に処理の概念を加え発展させた記憶モデルとしてワーキングメモリがある。ワーキングメモリは動的な目標指向型の記憶とされ、日常の様々な場面で必要となる。ワーキングメモリは容量制限があり、その個人差が文章読解や推論といった様々な高次認知課題の成績に影響を与えている。ごく近年では、ワーキングメモリ容量の個人差は、記憶がほとんど関わっていない注意課題の成績においても影響することが報告されてきている。

ワーキングメモリ容量はワーキングメモリコンポーネントの1つである中央実行系の注意制御機能を反映すると考えられているが、その具体的な機能については未解明である。ワーキングメモリ容量を決定する具体的な機能の1つとして抑制機能が考えられている。すなわち、ワーキングメモリ容量に反映される注意制御機能は記憶それ自体ではなく、記憶する際に影響を及ぼす妨害や干渉を抑制する機能ではないかと考えられている。しかし、これまでの研究では記憶に関する認知的な抑制機能が関心の中心であり、記憶に関与しない抑制機能については統一した見解がなかった。記憶がほとんど関わらない注意課題における抑制とワーキングメモリ容量の関係を検討することは、より日常的な場面におけるワーキングメモリ容量の理解に繋がり、これまで不透明であった中央実行系の機能を限定することに繋がるだろう。抑制機能には3つの段階が想定され、認知の段階における抑制の他に、反応段階での抑制や感覚入力時点での抑制が考えられている。抑制は何らかの反応を抑えることであるため、これらの抑制機能を検討する際に、結果として出力された行動指標のみのアプローチでは限界がある。本研究では記憶がほとんど関わっていない場合の抑制機能について、“反応をしない”という処理それ自体を検討できる事象関連脳電位 (event-related brain potential: ERP) を用いて3つの実験的検討を行うことにより、脳内の処理を含めたワーキングメモリ容量の個人差の影響を検討した。

実験1では、ワーキングメモリ容量と認知の段階における注意課題での抑制との関係について検討した。ワーキングメモリ容量を測定するリーディングスパンテスト遂行中に、ワーキングメモリ容量低群の方が課題に非関連な言語情報に対する注意が捕捉され、高群では抑制されるということが見られる。この課題非関連情報に対する抑制は、記憶課題遂行中の言語情報だけでなく、別の領域においても作用する可能性が考えられる。このため、記憶がほとんど関わっていない注意課題における、図形を用いた課題非関連刺激においても注意の抑制が見られるのかどうか、視覚3刺激オドゴール遂行中のERPを検討した。ワーキングメモリ容量低群では高群よりも繰り返される課題非関連情報に対するP300振幅が大きかった。このことは、ワーキングメモリ容量低群は高群よりも視覚刺激であっても課題非関連情報に注意が捕捉され

たことを示唆している。ワーキングメモリ容量が影響する抑制機能として、認知処理において見られる注意捕捉の抑制は、記憶場面の言語領域に限らず単純な視覚刺激においても見られることが示唆された。

実験2では、感覚入力処理という速い時間帯の情報処理過程における抑制について検討した。ワーキングメモリ容量の個人差は妨害刺激が呈示された際の感覚入力に対する注意の抑制と関係が見られる可能性が先行研究で報告されているが、行動指標からの推測のみであり、実際の心理生理学的な証拠は得られていなかった。記憶がほとんど関わらない注意課題の聴覚刺激に対する感覚入力の抑制が実際に生じているのか検討するため、聴覚3刺激オドボール課題遂行中のERPの検討を行った。ワーキングメモリ容量高群は低群よりも顕著な妨害刺激呈示後100ms付近に生じたN1振幅が小さかった。このことは、ワーキングメモリ容量高群は妨害刺激に対する感覚入力時点における注意を抑制したことを示唆している。しかし、顕著な妨害刺激が呈示される条件の課題関連刺激である標的刺激に対してさえも注意が抑制されていた。これらのことから、ワーキングメモリ容量高群では全ての刺激に対して注意を抑制するというトップダウンの調節を行っていたことが示唆された。

実験3では反応抑制について検討した。近年、ワーキングメモリ容量と反応抑制の間に関係があることが報告されてきたが、議論が分かれている。特に反応抑制だけでなく、目標維持が重要な要因ではないかという指摘もされている。ワーキングメモリ容量の個人差と反応抑制の間に関係があるかどうか、目標維持を必要とする反応抑制課題であるAX-CPTを用いて、課題遂行中のERPを検討した。反応抑制のみを求めた条件では、ワーキングメモリ容量による成績とERPの違いは見られなかった。一方、反応抑制に加え反応選択を求めた条件では、ワーキングメモリ容量低群の方が高群よりもエラーが多く、N2振幅が大きかった。N2振幅の結果は、ワーキングメモリ容量低群で反応選択に関する認知的な葛藤が強かったことを示唆している。また、反応選択に関する手がかり刺激のP300振幅がワーキングメモリ容量高群で低群より大きかった。このことは高群で低群より手がかり刺激に対して適切に注意資源を配分することができ、目標を維持できたことを示唆している。ワーキングメモリ容量高群は低群よりも目標維持に優れ、その結果強い競合が生じる反応選択に適切に反応できることが示唆された。実験3の結果から、ワーキングメモリ容量の個人差で抑制機能の違いが見られるための重要な要因として目標維持機能があることが示唆された。

以上のように本研究は中央実行系の能力を反映するワーキングメモリ容量の個人差が、認知、感覚、そして反応処理といった抑制機能に影響を与えることを明らかにした。また、これらの抑制機能の背景にある要因として目標の維持があることを示した。適切に抑制を行うという目標の維持に基づき、様々な段階での抑制処理においてワーキングメモリ容量による違いが見られると考えられる。この現象は様々な現実場面においても見られると考えられ、本研究の結果は、学校場面における注意散漫な児童のような事例を理解するための一助となるだろう。一方、創造的な問題解決のようにワーキングメモリ容量に依存しない課題では、過剰な注意の制御や焦点化が問題解決の妨げになるという報告がある。すなわち、過剰な目標の維持による注意制御の結果、ワーキングメモリ容量高群は創造的な問題解決を苦手とし、低群は優れていると考えられる。ワーキングメモリ容量を査定することで、容量が低いことによる困難を予測し、適切な援助によって本来持つ能力を引き出すことに繋がるだろう。本研究の実験的検討は、これまで未解明であったワーキングメモリ容量と抑制機能の関係を明らかにし、ワーキングメモリコンポーネントの中で不透明であった中央実行系の役割を目標維持と抑制という観点から具体化するという点で貢献する。

学位論文審査の要旨

主査	教授	室橋	春光
副査	准教授	河西	哲子
副査	教授	苧阪	満里子 (大阪大学人間科学研究科)
副査	教授	片山	順一 (関西学院大学文学研究科)
副査	准教授	入野	宏 (広島大学総合科学研究科)

学位論文題名

中央実行系におけるワーキングメモリ容量と 抑制機能に関する心理生理学的研究

本論文は、複雑な認知的課題の遂行に関与すると想定されるワーキングメモリとよばれるメカニズムに抑制機能が密接にかかわることを、事象関連電位成分を指標とした認知課題実験により検討したものである。本論文では、ワーキングメモリ容量における個人差に焦点を当て、その個人差と抑制機能との関連性を3つの実験を通して明らかにしようとした。BaddeleyとHitch(1974)により提唱されたワーキングメモリは、音韻ループと視覚スケッチパッドと呼ばれる記憶部分と中央実行系と呼ばれる注意制御にかかわる機能からなると考えられている。性質の異なる複数の課題を並行して実行するような場合に必要となる機能とされており、教育領域においても近年注目されてきている概念である。これまでの先行研究により、中央実行系は容量制限のある注意メカニズムであると考えられ、課題に関連しない刺激の処理を抑制することが重要とみられるようになった。しかし刺激処理過程における抑制機能のありさまは未だ明らかではなく、本論文では、事象関連電位とよばれる心理生理的指標を用い、認知的課題を遂行中の脳活動を測定することによりその機能を明らかにしようとした。なお本論文の一連の実験では、実験協力者のワーキングメモリ容量がリーディングスパンテストにより測定され、その得点の上位及び下位の各4分の1がワーキングメモリ容量の高群と低群に割りふられることにより検討された。

実験1では、標的刺激と非標的刺激、ならびに妨害刺激の3種類の刺激が不規則に視覚的に提示される課題により検討された。その結果、入力への注意制御を反映するとされるN1成分の妨害刺激に対する振幅が、容量低群で高群よりも大きかった。容量低群では注意が妨害刺激により向けられやすかったと推定された。また認知的資源の配分を反映するとされるP300成分の非標的刺激に対する振幅が、特に課題の後半部で容量低群では高群よりも低下しなかった。課題に習熟する後半になっても、容量低群は高群よりも処理が軽減されなかったと推定された。これらのことから、容量低群では、視覚刺激に対する注意機能が高群よりも制御されにくいことが示唆された。

実験2では、実験1と同様に3種類の刺激が聴覚的に不規則に提示される課題により検討された。その結果、容量低群では高群よりも妨害刺激に対するN1成分がより大きかった。聴覚においても容量低群では注意が妨害刺激により向けられやすかったと推定された。実験1および実験2から、視覚、聴覚のいずれにおいても容量低群では注意の統制がより困難であることが示唆された。

実験3では、ランダムな刺激系列の中に特定の2つの刺激が継続提示された時のみ2つ目の刺激に対して反応を求める、AX-CPTとよばれる課題により検討された。このとき、特定後続刺激への反応のみならず、それ以外の刺激に対しても他方の手で反応を求める課題(2選択肢課題)も実施された。その結果、2選択肢課題で、誤りが容量低群で高群よりも多く生じた。認知的葛藤を反映するとされるN2成分の振幅は、2選択肢課題で、容量低群で高群よりも大きかった。このことから、容量低群では、高群よりも認知的葛藤が強くと推定された。また2選択肢課題において特定2刺激の1つ目の刺激に対しては、容量高群の方が低群よりもP300成分の振幅が大きかった。このことから、容量高群では、手がかりに対してより有効に認知的資源を配分でき、誤りを少なく出来たと推定された。

これらの3つの実験から、容量低群においては、注意を制御して課題に関連しない刺激処理を抑制することに困難を生じやすいことが明らかになった。

以上のように本論文は、認知的課題下において事象関連電位という心理生理的指標を用い脳内活動を測定することにより、ワーキングメモリにおける中央実行系の役割について検討した。その結果、ワーキングメモリ容量の低い群では、より複雑な認知的課題下で注意の制御が不適切になりやすく、課題にかかわる目標を維持し続けることが高群よりも困難であることが示唆された。しかし3つの実験では、高次認知機能を全面的に駆使するような課題は用いられておらず、その意味ではワーキングメモリの全貌を明らかにしたとはいえない。しかし、著者は心理生理学的視点からワーキングメモリの個人差にかかわる基本的な抑制的制御機能について考察した。また容量の低い者のもつ優位的特性についても論じるなど、教育への寄与を深める考察も試みており、意欲的な論文として評価できるものである。

よって著者は、北海道大学博士(教育学)の学位を授与される資格があるものと認める。