

平成22年 5月22日現在

研究種目：若手研究(スタートアップ)

研究期間：2008～2009

課題番号：20830041

研究課題名(和文) 高次認知の個人差とワーキングメモリ

研究課題名(英文) Individual differences in higher cognition and working memory

研究代表者

大塚 結喜(OTSUKA YUKI)

京都大学・教育学研究科・助教(グローバルCOE)

研究者番号：60456811

研究成果の概要(和文)：まず、高次認知の個人差への関与が知られているワーキングメモリの実行系機能を支えている脳領域は前部帯状回、左の上頭頂小葉および左の前頭前野背外側部であることが明らかになった。次に、高次認知のひとつである心の理論課題の個人差に関わるのは左側の前部上側頭溝であり、高次認知の中でも心の理論の個人差にはワーキングメモリの実行系機能が関与していない可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：First, I revealed that the anterior cingulate cortex and the left superior parietal lobule and the left dorsolateral prefrontal cortex would mediate executive function of working memory in the elderly. Second, the theory of mind task in higher cognition would recruit the left anterior superior temporal sulcus, which indicates the possibility that the theory of mind would be an untypical higher cognition because executive function of working memory might not account for individual differences in the theory of mind.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,390,000	417,000	1,807,000
2009年度	1,120,000	336,000	1,456,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,510,000	753,000	3,263,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：高次認知, 個人差, ワーキングメモリ

1. 研究開始当初の背景

ワーキングメモリとは、読解や推論などの高次認知で重要な役割を担っていると想定される記憶システムである。例えば、「1冊の本として」私たちが文章の意味を捉え理解するためには、既に読んだ内容を覚えている必要がある。それが出来なければ、私たちは

無数の「文」を連続的に読んでいただけになってしまう。しかし私たちの記憶には限界があり、一字一句違わずに本に書かれた情報を記憶することは不可能である。そこで私たちはワーキングメモリによって必要な情報だけを記憶しながら、文章に含まれる文を次々に読んでいく。つまり「文を読む」という認

知活動の間に架けられた変化自在の「架け橋」がワーキングメモリなのである。この「架け橋」がなければ、数多くの心的活動を組み合わせる必要のある高次認知は成立し得ない。

ワーキングメモリが高次認知で重要な役割を担っていることを示すように、ワーキングメモリ課題の成績は読解力テストと高い相関を示す。ではワーキングメモリは、一般に「知能」と呼ばれる概念と果たして本当に違っているのだろうか？この問題についても、代表者らは検討を行なっている。ワーキングメモリが読解力に対して与えている影響を言語性・空間性知能と比較して検討したところ、ワーキングメモリは言語性知能よりも強い影響を読解力に与えていることがわかった。したがって、ワーキングメモリはやはり「知能」と呼ばれる能力とは質的に全く異なっており、ワーキングメモリが高次認知で重要な役割を果たしていることは明らかである。

2. 研究の目的

(1) ワーキングメモリの「何（どのような機能が高次認知で重要なのか）」が、「どこ（ワーキングメモリを支える神経基盤のどの脳領域が高次認知で重要なのか）」を明らかにすることであった。

(2) 「どのように（ワーキングメモリのどの機能に比重をかけて用いることが高次認知で重要なのか）」高次認知で重要なのかを明らかにすることであった。

3. 研究の方法

(1) 機能的磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging; fMRI)を用いて、高齢者においてワーキングメモリの実行系機能および短期貯蔵のそれぞれの個人差と関わる脳領域を検討した。具体的には、各被験者にfMRI実験の前に実施したリーディングスパンテスト(reading span test, RST; 実行系機能の指標)とワードスパンテスト(the word span test, WST; 短期貯蔵の指標)の得点を予測変数として脳活動の信号強度に対し重回帰分析を実施し、実行系機能と短期貯蔵それぞれの個人差に関わる脳領域を独立に検討した。

実験参加者は右利きの高齢者25名(男性19名、女性6名; 平均年齢68.9, 範囲62-76歳; 平均教育年数12.2, 範囲8-16年)であった。fMRI実験の前に、RSTとWSTの得点を測定した。RSTとしては、高齢者用に修正された日本語版のRSTを用いた。実験参加者は一連の文を読み上げつつ各文中に含まれるターゲット語を保持するように求められた。文の数は1から5まで1ずつ増加していき、それぞれの文の数につき5試行実施した。得

点は、実験参加者が完答した試行の再生数を全て合計することによって算出した。なお1試行も完全に再生できない数に達した時点で、それ以上文の数を増やさずに打ち切った。RSTの平均得点は15.6であった(SD 5.8, 範囲5-31)。WSTでは、実験参加者は一連の単語を読み上げつつ保持するように求められた。単語の数は2から5まで1ずつ増加していき、それぞれの単語数につき2試行実施した。実験参加者が2試行で全てのターゲット語を完全に再生できた単語数をスパンとし、それよりも1つ多い単語数で1試行完全に再生した場合にはスパンに0.5加算した。例えば、単語数4で2試行完全に再生し単語数5で1試行完全に再生した場合にはスパン4.5とした。なお1試行も完全に再生できない数に達した時点で、それ以上単語数を増やさずに打ち切った。WSTの平均得点は3.3であった(SD 0.54, 範囲2.5-4.5)。

本実験では、fMRI実験用に開発された日本語版RSTを高齢者向けに改変して実験参加者に実施した。fMRI実験のセッションは読み+記憶期間と再認期間に分かれていた。読み+記憶期間では、実験参加者は画面に提示された文を読みながら各文に含まれるターゲット語を記憶した。なお文が読まれていることを確認するために、実験参加者には提示された文が意味的に正しいかどうかを判断するように求めた。実験に用いられた文の半数は意味的に正しいが、残りは意味的に誤っていた(e.g., “水泳は陸で行なうスポーツです” - “誤”)。文の長さは漢字かな混じりで14から21文字、記憶すべきターゲット語は1文あたり1語として下線で示した。ターゲット語は全て漢字2字の名詞とした。各試行では3文が6秒ずつ連続的に提示され、実験参加者は提示された文の意味が正しければ左手の親指のボタンを、誤っていれば右手の親指のボタンをできるだけ速く押すことを求められた。同時に、文中のターゲット語を出現した順番通りに覚えておくように教示された。各試行は読み+記憶期間と再認期間で構成され、読み+記憶期間に続いて再認期間が行なわれた。再認期間では、実験参加者は画面に提示される単語が読み+記憶期間で覚えた単語かどうかを再認するように求められた。再認期間で用いられた単語の半数はターゲット語と一致していたが、残りの半数は文中に出現しなかった単語であった。提示された単語は全て漢字2字の名詞であった。各試行では、3つの単語が6秒ずつ連続的に提示され、実験参加者は提示された単語が覚えたターゲット語に含まれていれば左手の親指のボタンを、含まれていなければ右手の親指のボタンを出来るだけ速く押すように求められた。なおベースラインとしては「みぎ」または「ひだり」という単語が6秒

ずつ1試行で3回提示され、実験参加者は対応した手の親指でボタンを出来るだけ速く押すように求められた。

画像データを取得するために、島津・マルコーニ社製1.5テスラのfMRIスキャナー装置を使用した。刺激はソフトウェアPresentation (Neurobehavioral systems Inc., San Francisco, CA)でMRIスキャナーと同期させて生成し、プロジェクターでスクリーン上に提示した。実験参加者はスクリーン上の刺激を鏡越しに見ていた。画像データの解析には、MATLAB (MathWorks Inc., Sherborn, MA)上で動作するSPM99 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)を用いた。データ解析にはMATLAB (MathWorks Inc.)上で動作するSPM99 (Wellcome Department of Cognitive Neurology, London, UK)を用いた。ランダム効果モデル(random effects model)を適用し、閾値はボクセル・レベルで $p < 0.001$ uncorrectedに設定した。

(2) 高次認知課題のひとつである心の理論課題の個人差に関わる脳領域をfMRIによって検討した。具体的には、重回帰分析によって心の理論課題の成績と活動強度が関連している脳領域を明らかにし、その脳領域が従来心の理論との関連を指摘されてきたワーキングメモリの中央実行系(実行系機能)を支える神経基盤と重複しているかどうかを検討した。

実験参加者は、京都大学の大学院生および学部生24名(男性16名、女性8名、平均年齢、24歳、範囲;19-31歳)であった。実験参加者には、心の理論課題と統制課題の2つの課題が実施された。心の理論課題では、登場人物の心的状態に照らし合わせて2つ目の文が1つ目の文と一致しているかどうかを判断するように実験参加者に求めた。統制課題では、時制(過去・現在・未来)の点で2つ目の文が1つ目の文と一致しているかどうかを判断するように実験参加者に求めた。心の理論課題の刺激文は60組、統制課題の刺激文は18組用意された。刺激の半数は本来の組み合わせのままであったが、残りの半数は本来の組み合わせとは異なる文と組み合わせられていた。統制試行の半数は同じ時制の組み合わせで、残りの半数は時制の異なる組み合わせであった。各試行の実施順序は、各課題で別々に擬似ランダム化されていた。各課題の実施順序については、3試行以上同じ課題が続かないようにしたうえで擬似ランダム化した。fMRI画像の取得方法および解析方法は(1)と同様であった。

4. 研究成果

(1) RST得点は前部帯状回(the anterior cingulate cortex; ACC), 左の上頭頂小葉

(the superior parietal lobule; SPL)および左の前頭前野背外側部(the dorsolateral prefrontal cortex; DLPFC)との間に、WST得点はACCと右のSPLとの間に有意な関連を示した。これらの結果から、高齢者において、高次認知の個人差への関与が知られているワーキングメモリの実行系機能を支えている脳領域はACC, 左SPLおよび左DLPFCであることが明らかになった。脳活動の個人差と行動データの個人差を適合させることに成功したのは国内外の脳研究分野において大きな意義を持つものである。通常、fMRIの測定装置の中では、実施された課題を被験者が確かに遂行していたことを行動指標でしか確認できないため、どうしてもある程度高いパフォーマンスに偏ってしまう(もしパフォーマンスが低ければ、そもそも得られた脳活動が課題に従事していたことに由来するとは言えなくなってしまうだろう)。したがって、fMRIでは脳活動には非常によく個人差が反映されるが、行動指標に個人差が反映されることは難しかった。本研究では事前に測定した行動指標を独立変数として重回帰分析を実施することによって、ワーキングメモリの実行系機能および短期貯蔵の個人差に関連した脳活動を取り出すことに成功した。また従来高次認知との関連が知られてきたACCとDLPFCに加えて、SPLも高次認知の個人差に関与しているかもしれないという本研究の知見は未だ明らかでない高次認知メカニズムの解明に貢献するものである。

(2) 重回帰分析の結果、左側の前部上側頭溝(anterior superior temporal sulcus; anterior STS)の活動強度が心の理論課題の成績と関連を示したことから、左側のanterior STSが心の理論の個人差と関連している可能性が示された。一方で、ワーキングメモリの中央実行系(実行系機能)を支えることが知られている内側前頭前野(medial prefrontal cortex; mPFC)の活動強度は心の理論課題の成績との関連性を示さなかったことから、心の理論の個人差にワーキングメモリの中央実行系(実行系機能)が関与している可能性は低いことが明らかになった。高次認知のなかでも心の理論はワーキングメモリの中央実行系(実行系機能)が個人差に関与していない珍しい認知過程であるという、ヒトの高次認知メカニズムを解明するうえで重要な手掛かりをもたらした。この成果は、国内外を問わず実行系機能が関与しているという前提で行なわれてきた近年の心の理論研究の流れにも一石を投じるものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① Otsuka, Y., Osaka, N., Ikeda, T., and Osaka, M. (2009). Individual differences in the theory of mind and superior temporal sulcus. *NeuroscienceLetters*, 査読有, **463**, 150-153.
- ② Otsuka, Y., Osaka, N., and Osaka, M. (2008). Functional asymmetry of superior parietal lobule for working memory in elderly. *NeuroReport*, 査読有, **19**, 1355-1359.

〔学会発表〕（計 4 件）

- ① 大塚結喜, 高齢者のワーキングメモリ, 日本心理学会第 73 回大会ワークショップ「ワーキングメモリーの認知的変化を考える」話題提供, 2009 年 8 月 26 日, 立命館大学 (京都市)
- ② Otsuka, Y., Osaka, N., & Osaka, M., Functional asymmetry of the superior parietal lobule in working memory of the elderly, Working Memory Meeting 2009, 2009 年 6 月 16 日, Shengen, Luxembourg.
- ③ Otsuka, Y., Osaka, N., & Osaka, M., Functional asymmetry of the superior parietal lobule in working memory of the elderly, International Seminar on “Neuroscience and Cognitive 統制”, 2008 年 12 月 5 日, Ghent, Belgium.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 結喜 (OTSUKA YUKI)

京都大学・大学院教育学研究科・助教 (グローバル COE)

研究者番号 : 60456811