

空間性ワーキングメモリにおける系列的順序記憶に関する 認知神経心理学的研究 —加齢発達研究の応用にむけて—

肥後 克己

本研究は、空間性ワーキングメモリにおける系列順序記憶の保持と処理について実験的検討を行い、またそれらの機能に対する加齢の影響および神経基盤を検討したものである。

第1章 序論

私たちは時間の流れる空間の中で生きている。物体の位置と位置の変化を記憶し、ときに心内でその表象を操作することは基本的な認知機能の一つであると言えるだろう。本研究では、時間の進行に伴って変化する空間位置情報の保持と処理について実験的研究を行った。本研究では、空間位置の順序系列記憶に関する基礎的な知見を得るとともに、今後重要となるであろう加齢による影響についても検討した。本研究では空間モダリティにおける系列順序記憶および系列順序記憶に対する加齢の影響について、高次認知機能の要であるワーキングメモリの観点から実験を行った。実験課題として、空間性短期記憶・ワーキングメモリ課題として広く用いられているコルシブロック課題を用いた。空間性ワーキングメモリにおける系列順序情報保持についての研究はあまり行われていないが、Jones, Farrand, Staut, & Morris (1995)や Depoorter & Vandierendonck (2009)らによって、言語モダリティ記憶と視空間モダリティ記憶の間に共通の系列順序情報保持システムが存在する可能性が示唆されている。また、彼らの研究では、系列的言語性二次課題が系列的空間性一次課題に干渉することが示されている。本研究では、これらの、言語モダリティと視空間モダリティ間に共通の系列順序情報保持システムがあるという知見と、系列性課題同士の同時遂行は、異なるモダリティであっても干渉を引き起こし成績の低下を引き起こすという知見に基づき実験を行った。

第2章 受動的記憶と情報処理が求められる記憶における系列順序情報記憶の差異

短期記憶とは、文字通り短期的に情報を保持しておく機能である。一方、ワーキングメモリは、情報を保持するという点では短期記憶と同一であるが、目的指向的であるという点と、ときに保持している情報を処理することが必要とされるという点で短期記憶とは異なっている。第2章では、情報処理が必要とされない場合とされる場合（つまり短期記憶とワーキングメモリ）における空間モダリティの系列順序情報記憶機能の差異について検討した。そこでは、情報処理が必要とされる場合の方が、そうでない場合と比較してより強固な記憶表象の形成が必要となると予想される。課題には系列的空間性課題であるコルシブロック課題の Forward recall と Backward recall を用い、二次課題である系列的構音抑制の干渉の大きさを比較した。本研究では以降の実験も含めて、一般的に解釈されているのと同様に、順序の並び替えを必要としない Forward recall を受動的な短期記憶機能が反映される課題、順序の並び替えという情報処理を必要とする Backward recall を実行系機能を含むワーキングメモリ機能を反映した課題として用いている。

結果として、順序記憶機能の指標となる順序エラー数を比較したところ、Backward recall において系列的構音抑制による順序エラー数の増加が見られた（図 1）。この結果は、受動的に記憶する場合よりも情報処理を考慮した場合の方が系列的構音抑制による干渉を強く受けているということであり、後者の場合の方がより強く系列順序情報を保持することが必要であることを示していると解釈できる。

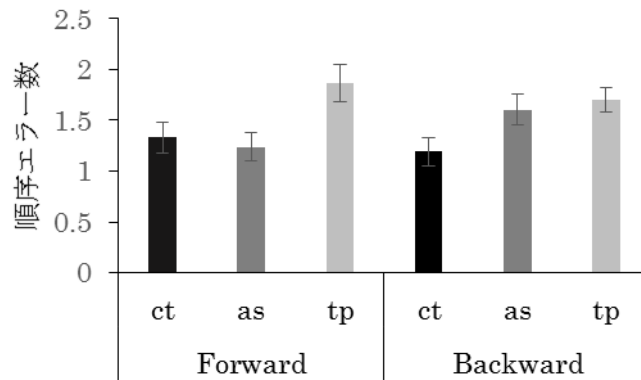


図1 各条件における順序エラー数
エラーバーは標準誤差を表す

ct:コントロール, as:系列的構音抑制, st:空間タッピング

第3章 空間モダリティの系列順序記憶機能に対する加齢の影響の検討

第3章では、第2章の実験で得られた知見をもとに、空間モダリティにおける系列順序情報の保持機能について、若年者と高齢者の比較を行った。空間モダリティの系列順序情報の保持には実行系機能が関与していることが先行研究により示唆されている。実行系機能は加齢による影響を強く受け、年齢とともに低下することが知られている。従って、空間モダリティの系列順序情報の保持機能も加齢によって低下することが予想された。

実験の結果、短期記憶機能を反映するコルシブロック課題の Forward recall 条件において、若年者では弱くしか現れなかった系列的構音抑制による干渉が高齢者において示された。また、Backward recall における順序エラー数も若年者よりも多く、受動的な短期記憶の場合も、情報処理を仮定したワーキングメモリの場合も、加齢によって空間モダリティの系列順序情報保持機能が低下することが示された(図2)。

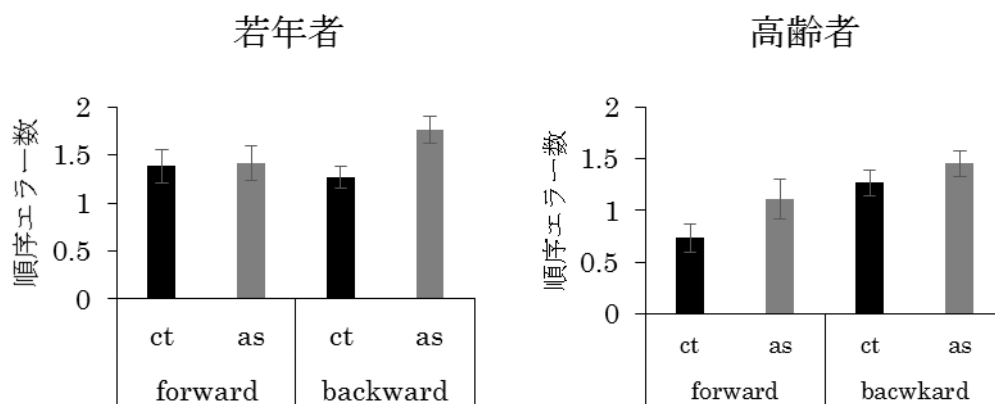


図2 各条件における、若年者と高齢者の順序エラー数
エラーバーは標準誤差を表す

ct:コントロール, as:系列的構音抑制

また、高齢者において言語性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とコルシブロック課題

の Forward recall の成績の間に相関が見られたことから、高齢者における空間性系列順序記憶の保持に実行系機能が関わっている可能性、また加齢による空間モダリティの系列順序情報保持機能の低下に実行系機能の低下が関わっている可能性が示唆された。

第4章 空間モダリティにおける系列順序情報保持を担う神経基盤について

第4章では、空間モダリティの系列順序記憶を担う神経基盤について検討した。先行研究や第3章における実験によって、加齢による空間モダリティの系列順序記憶機能の低下は、実行系機能の低下に起因していることが示唆された。加齢による実行系機能の低下は、前頭葉機能の減衰によって起こることが先行研究によって示されており、系列順序情報の記憶も同様に前頭葉機能の低下に起因している可能性が考えられる。そこで、若年者の系列的空間性課題遂行の際の前頭葉の活動を NIRS によって計測し、系列性空間性記憶課題の遂行に関わる前頭葉機能の働きを検討した。実験では空間位置刺激を同時に呈示する条件と系列的に呈示する条件を比較し、その際の前頭葉の活動を比較した。図3には、NIRS によって得られた前頭部の課題遂行中の血中の酸化ヘモグロビン(Oxy-Hb)濃度変化を示した。縦軸は Oxy-Hb 濃度、横軸は時間の変化を表しており、0 秒時点(グラフ中央付近)で記憶刺激の呈示が始まっている。記憶刺激は 6 秒間呈示され、その後刺激の空間位置系列の再生が求められた。グラフから、刺激呈示によって Oxy-Hb 濃度が高まっていることが読み取れる。結果として、分散分析による集合データの分析では、条件間での差は認められなかった。続いて一般線形モデルによる個人データの分析を行ったところ、同時呈示条件においても系列的呈示条件においても、課題の遂行によって前頭葉が活動していることが示唆された。しかし、系列順序情報の保持に特に前頭葉が重要な役割を担っていることまでは示されなかった。系列的/非系列的空間性記憶条件の間で脳活動に明確な差が表れなかった原因として、人間は同時に呈示された情報に対しても継時的な処理を行っている可能性、もしくは継時的な記憶・処理の場合には頭頂葉を含めた、より広範な脳内ネットワークが関与している可能性が考えられる。

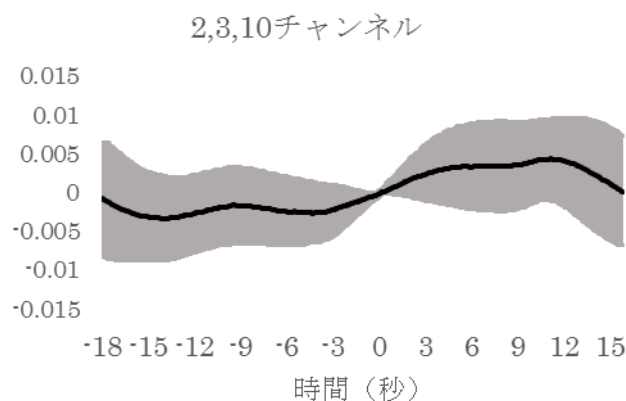


図3 課題の遂行に伴って変化する前頭部 Oxy-Hb 濃度
背景のグレーは SD を表す。

第5章 総合考察

第5章ではここまでの結果を振り返り、空間モダリティにおける系列順序情報保持についての性質と加齢による影響を整理しつつ、今後の研究における課題をまとめた。本研究によって、系列順序情報の処理が必要な場合は、受動的に記憶する場合と比較して、より強固な系列順序情報の保持が必要となるこ

と、加齢によって系列順序情報保持機能が影響を受けることが示された。また、系列的空間性記憶には中央実行系機能とそれを担う前頭葉が重要な役割を果たしている可能性が示唆された。今後の研究においては、系列順序情報保持における中央実行系および前頭葉の機能との関わりを明らかにしていくことが重要だと言える。(心と脳の科学)