

マルチタスク事態における ワーキングメモリ容量の領域固有性の検討¹⁾

遠藤信貴*

A study on domain specificity of working memory capacity in multitasking

Nobutaka ENDO

Abstract

The purpose of the present study is to examine whether working memory capacities are intrinsically domain-specific for different modalities (visuospatial and verbal information). In previous studies, this question was addressed by assessing the correlation between the performance in visuospatial and verbal working memory tasks. However, both were measured separately. In the present study, to assess the costs in the multitask situation, participants were required to employ both multiple object tracking (visuospatial working memory task) and listening span test (verbal working memory task) concurrently when attentional resources for these tasks were almost equal. The results showed that the performance of listening span test decreased as a function of verbal working memory load, while verbal working memory load had little influence on the performance of multiple object tracking. These results are consistent with the notion of domain-specific capacities in working memory, suggesting an importance of the role of central executive control in working memory system.

Keywords : ① working memory capacity ② domain specificity ③ multitasking

背景と目的

読書をする、会話をする、買い物をするなど、我々が日常生活で行う種々の行動を支えているとされるのはワーキングメモリという記憶システムである。ワーキングメモリは、様々な認知的課題の遂行に必要な情報の一時的保持と、課題に関連する情報処理の両方を担う動的な記憶システムと考えられている。例えば、誰かと会話をしているとき、その場にふさわしい円滑なコミュニケーションが成り立つには、話者と対話者がお互いに相手の発言内容を保持しつつ（情報の一時的保持）、自分の知識や経験

などを踏まえて発話内容を構成していく（情報処理）必要がある。買い物をしているときであれば、手持ちの金額に対して、あとどれだけの買い物ができるのか、何をかうかといった心的処理が該当する。

記憶とは、情報の記銘、保持、想起の3つのプロセスを含むが、古くから保持機能はとりわけ重要であるとされており、情報の保持期間の違いという点から、記憶は短期記憶と長期記憶の2つに分類されてきた。Atkinson & Shiffrin (1968) による二重貯蔵モデルは、情報処理のプロセスを記憶機能の側面から説明したものであり、短期記憶と長期記憶の関係性を示す代表

受付：平成 29 年 7 月 31 日 受理：平成 29 年 9 月 6 日

* 近畿大学総合社会学部 心理系専攻・准教授（認知心理学）

1) 本論文は、著者の指導のもとで難波弘光氏が近畿大学総合社会学部に提出した 2014 年度卒業論文で用いたデータの再分析に基づき改稿されたものである。

的なモデルである。このモデルでは、短期記憶と長期記憶の間での情報のやり取りは双方向のパスが仮定されている。つまり、短期記憶では情報の一時的保持がなされ、重要な情報や積極的に注意が向けられた情報は長期記憶へ転送されるという流れと、長期記憶から想起された情報が短期記憶に送られ保持されるという流れの2つであるが、このモデルにおいて、短期記憶は情報の一時的な保持機能が特に強調されており、静的かつ受動的な記憶システムとして位置づけられている。しかし、Baddeley & Hitch (1974) は、静的かつ受動的な短期記憶の概念では、日常的な認知活動に含まれる情報の保持と処理の同時的遂行を説明するには不十分であることを指摘し、日常の認知活動における短期記憶の役割という観点から新たに提唱されたのがワーキングメモリである。

Baddeley & Hitch (1974) が提唱したワーキングメモリモデルは3つのコンポーネントから構成され、情報を一時的に保持する2つのサブシステムとして視空間スケッチパッドと音韻ループを、2つのサブシステムをコントロールする中枢として中央実行系を仮定している。このモデルでは情報モダリティごとに異なる貯蔵システムを仮定しており、視空間スケッチパッドとは主として視空間性情報を、音韻ループは音声、言語性情報をそれぞれ保持するとしている。また、中央実行系はワーキングメモリモデルの働きを統括する位置づけであり、2つのサブシステムの働きを調整し、具体的には情報保持に必要な処理資源としての注意の配分を司るとしている。さらに、Baddeley (2000) では視空間情報と聴覚言語情報が統合された情報や長期記憶から検索された情報のように2つの保持システムでは保持できない情報を一時的に保持するエピソードバッファを追加したモデルを提唱しており、このモデルを支持する知見は多い。

Baddeley (2000) のモデルは、ワーキングメ

モリを従来の短期記憶の概念を日常的な認知活動の説明に適した概念へと拡張したものであることから、基本的には長期記憶とは独立した記憶システムとして位置づけている。これに対して、Cowan (1999) はワーキングメモリを長期記憶の1つの要素として捉える埋め込み処理モデルを提唱している。埋め込み処理モデルでは、長期記憶にある表象のうち活性化水準が高められかつ注意が焦点化された表象の集合をワーキングメモリと定義している。一般にワーキングメモリには情報の保持容量に制限が設けられている。古くは短期記憶の容量は 7 ± 2 チャンク²⁾とされていたが (Miller, 1956)、埋め込み処理モデルにおけるワーキングメモリ容量は、一時的に注意を焦点化できる情報量に該当し、その容量は 4 ± 1 チャンク程度と推定されている (Cowan, 2001, 2010)。近年の研究でも視空間性ワーキングメモリの容量については変化検出課題による検討 (Luck & Vogel, 1997) や多物体同時追跡課題による検討 (Cavanagh & Alvarez, 2005) からいずれも4チャンク程度、言語性ワーキングメモリの容量も4チャンク程度 (荳阪, 2012) であることが示唆されている。

Baddeley (2000) のモデルと埋め込み処理モデルとではワーキングメモリそのものを独立したシステムとして捉えるか、長期記憶の一部として捉えるかで異なるが、情報の貯蔵庫についての仮定も異なる。Baddeley (2000) のモデルでは、視空間性情報は視空間スケッチパッドに、聴覚言語性情報は音韻ループにと情報の感覚モダリティごとに個別の貯蔵庫を想定している。これに対して、埋め込み処理モデルではワーキングメモリを長期記憶の一要素としているため、ワーキングメモリに特異的な貯蔵庫を仮定しているわけではないが、少なくとも情報モダリティに依存するものではない。しかし、ワーキングメモリの容量は固定的に捉えるのは適切ではないという考え方もできる。なぜな

2) チャンクとは情報のまとまりの単位を表す。1つの情報を1チャンクと捉えることもできるが、関連した複数の情報を1つのまとまりとして、それを1チャンクと捉えることもできる。

ら、ワーキングメモリシステムの働きは、Baddeley (2000) のモデルでいえば中央実行系による注意資源の配分によって変化し、それは課題内容や優先度、難易度などを含む課題遂行状況に依存するからである。例えば、De Fockert, Rees, Frith, & Lavie (2001) は、5桁の数字列の保持課題（ワーキングメモリ課題）と有名人の顔画像（歌手か政治家）に重なり呈示される有名人の名前（歌手か政治家）が歌手か政治家かのカテゴリ判断課題（名前に対する注意選択課題）の同時遂行事態において、ワーキングメモリ負荷の高低が妨害刺激（顔画像）に対する反応抑制処理に影響すること、またワーキングメモリの負荷が高い条件における数字列の保持成績は低下することを示した。特にワーキングメモリ負荷が高いときに数字列の保持成績が低下するという結果は、ランダムな数字列のように保持が相対的に困難な事態がワーキングメモリの負荷を高め、保持可能な情報量が減少したことを示している。このように、ワーキングメモリに一定の保持容量を仮定しても、その容量は固定的ではなく課題遂行状況に応じて変動すると解釈することができる。そこで、本研究は特定の認知課題遂行時におけるワーキングメモリ容量を具体的に測定することではなく、情報の貯蔵庫の存在に関する Baddeley (2000) のモデルと埋め込み処理モデル (Cowan, 1999) の妥当性の検証に焦点を当てる。

本研究の目的

Baddeley (2000) と Cowan (1999) のワーキングメモリモデルの構造的な相違点として、ワーキングメモリ内の貯蔵庫に領域固有性を認めているか否かが挙げられる。Baddeley (2000) のモデルでは、視空間性情報と聴覚言語性情報はその情報モダリティに応じて個別の保持領域を仮定しているが、Cowan (1999) のモデルではワーキングメモリを長期記憶の一要素として捉えており、情報モダリティの違いによる保持領域の固有性は仮定していない。この領域固有性の問題はそれぞれのモデルの妥当性を検証するうえで重要である。しかし、この問題に關す

る先行研究は、Shah & Miyake (1996) によるワーキングメモリの保持容量に基づく検討があるものの、これまでに十分な知見が蓄積されてきたとは言い難い。

ワーキングメモリ容量の測定にはいくつかの方法が提案されているが、いずれも二重課題をベースにしたものである。二重課題とは、1つの課題の中で2種類の反応を求めるものであり、これは、Baddeley (2000) のモデルにおける中央実行系によるワーキングメモリの制御を踏まえたものといえる。視空間性ワーキングメモリ容量の測定手法として、空間スパン課題 (Shah & Miyake, 1996) がある。空間スパン課題とは、平面回転して呈示された文字が正像か鏡映像かの判断と、文字判断の後に呈示される矢印の向きの記録を求める二重課題である。また、言語性ワーキングメモリ容量の測定手法には、Daneman & Carpenter (1980) が開発したリーディングスパン課題 (RST: Reading Span Test) がある。RSTとは、一文ずつ呈示される文章を読みながら、文章中の1つの単語の記録を求める二重課題である。ここでいうスパンとは記憶容量を意味し、ある特定の情報処理と情報の保持をバランスよく遂行できるワーキングメモリの容量を測定するものである。

情報保持の領域固有性の問題に関して、Shah & Miyake (1996) はワーキングメモリ容量の個人差に着目し、空間スパン課題の成績が高いほど空間認知テストの成績が高いこと、RSTの成績が高いほど言語情報処理テストの成績が高いことを示した。一方で、空間スパン課題の成績と言語情報処理テストの成績の関係や、RSTの成績と空間認知テストの成績の関係には有意な相関は見られないことを明らかにしている。これらの結果から、ワーキングメモリの貯蔵庫は情報のモダリティによって異なる領域固有性を支持している。しかし、Shah & Miyake (1996) では、空間スパン課題とRSTの成績は個別に測定されており、そこから推定される視空間性ワーキングメモリ容量と言語性ワーキングメモリの容量をもとにした、視覚情報処理課題や言語情報処理課題とのオフライン状況下における

相関関係を示しているに過ぎない。つまり、視空間スケッチパッドと音韻ループの同時的な負荷を伴う、オンライン状況下における情報モダリティごとの貯蔵庫の存在を示す証拠としては不十分であり、Cowan (1999) の保持領域の固有性を仮定しないモデルに対する積極的な反証とはいえない。

そこで本研究では、視空間性ワーキングメモリ課題と言語性ワーキングメモリ課題の同時遂行を求めるマルチタスク事態において、ワーキングメモリ負荷の増大に伴う課題成績の変化に基づいてワーキングメモリにおける貯蔵庫の領域固有性の有無について検証することを目的とする。本研究では、2種類のワーキングメモリ課題の同時遂行を実現させるために、視空間性ワーキングメモリ課題には Pylyshyn & Storm (1988) によって開発された多物体同時追跡課題 (MOT: Multiple Object Tracking) を、言語性ワーキングメモリ課題には Daneman & Carpenter (1980) によって開発されたリスニングスパンテスト (LST: Listening Span Test) を用いた。MOT とは、複数のオブジェクトがランダムに動き回る視覚画面を呈示し、あらかじめ指示された標的オブジェクトの一定時間の追跡を求める課題である。標的オブジェクトの数や追跡時間を操作することで追跡成績は変化し、標的オブジェクトの増大や追跡時間の延長により成績は低下する。一般的なワーキングメモリスパン課題と異なり二重課題を求めるものではないが、運動物体表象の維持更新のために持続的な注意制御を必要とすることからワーキングメモリにおける中央実行系の役割が重要となる課題である。Miyake & Friedman (2012) は中央実行系による注意の制御について、注意の切り替え、反応抑制、モニタリングの重要性を指摘しているが、MOT 課題もこれらの制御が必要不可欠なものとして位置づけられる。

一方、言語性ワーキングメモリ課題としては、視空間性ワーキングメモリとして MOT 課題を用いることを踏まえ、RST のような刺激の視覚呈示を必要としない、LST 課題を用いた。LST 課題は聴覚呈示される刺激文に対する内容

判断を求め、さらに刺激文の後に呈示される刺激語の保持、再生を求める二重課題である。この課題では、刺激文の数の増大に伴い、刺激文への正誤判断と刺激語の保持成績は低下する。LST 課題の成績は文章理解に関する一般的知識課題と正の相関を示すことが明らかにされており、言語性ワーキングメモリ課題として RST と同等の妥当性を有するものと位置づけられる。本研究では、佐々木 (2006) によって作成された日本語版集団式 LST を用いた。

仮説

本研究では2つのセッションからなる実験を行った。セッション1の目的は、MOT 課題により実験参加者ごとの視空間性ワーキングメモリの容量を推定することであった。同時追跡する標的数を階段法により変化させ、標的追跡成績が90%以上となる標的数を査定し、これを視空間ワーキングメモリの容量の指標とした。この目的は視空間性ワーキングメモリ課題が安定的かつおおむね正確に遂行可能な閾レベルを基準としたうえで、セッション2において MOT 課題と LST 課題のマルチタスク事態を設定するためであった。つまり、セッション2の MOT 課題の標的数はセッション1で査定された標的数に固定した。

ワーキングメモリの貯蔵庫が情報モダリティによって異なるか否かによって、セッション2における MOT 課題と LST 課題の成績の変化パターンは、LST 課題の難易度の上昇に伴って異なることが予測される。マルチタスクを遂行することにより、中央実行系による注意制御の負荷は高まるため、それぞれの課題成績は LST 課題の難易度の上昇に伴って低下すると考えられる。しかし、Baddeley (2000) のモデルで仮定されている情報モダリティに固有の貯蔵庫が存在するのであれば、LST 課題の遂行に必要な言語性情報も、MOT 課題の遂行に必要な視空間性情報も固有の貯蔵庫に保持されると考えられる。従って、MOT 課題の成績の低下に比べて、LST 課題の成績の低下はより顕著であり、LST 課題の難易度に伴って両課題間の成績

の差は大きくなると予測される。一方、Cowan (1999) のモデルに従えば、情報の保持様態はそのモダリティに依存しないため、LST 課題の遂行によって保持される言語性情報と MOT 課題で保持される視空間性情報は共有の貯蔵庫内で保持されることにより、LST 課題の難易度に伴って一様に低下すると予測される。マルチタスク事態においては、それぞれの課題への注意配分がどのようになされるかによっても結果は影響される可能性がある。MOT 課題はセッション 1 において反復経験していることから、マルチタスク事態であっても MOT 課題への注意配分は LST 課題に比べて相対的に少なくとも遂行できる可能性が高く、LST 課題の難易度に伴い、より多くの注意資源が LST 課題に配分されることも考えられる。その場合、Cowan (1999) のモデルに従えば、LST 課題へ配分される注意資源が増大することで、MOT 課題の成績が LST 課題よりも低くなる可能性も考えられる。

方 法

実験参加者

大学生 33 名が実験に参加した。全員が裸眼もしくは矯正により健常な視力を有していた。本実験計画は近畿大学総合社会学部の研究倫理審査委員会が定める倫理基準を満たしたものであり、すべての実験参加者に対して実験への参加は任意であること、また実験参加への同意はいつでも撤回できることを説明し、同意を得たうえで実験参加の協力を得た。

実験器具

実験はワークステーション (DELL 社製 Precision T3600) を用い、MATLAB ソフトウェア (The Mathworks, Inc) と心理物理実験用の関数ライブラリである Psychophysics Toolbox (Brainard, 1997; Pelli, 1997; Kleiner, Brainard, & Pelli, 2007) で記述されたプログラムによって実行された。MOT 課題の視覚刺激は 22 インチの CRT モニタ (MITSUBISHI 社製 Diamondtron

Flat RDF221S) 上に呈示された。モニタの解像度は 1024 × 768 (横 × 縦) ピクセルであった。視覚刺激の呈示範囲はモニタ中央部の 600 × 600 (横 × 縦) ピクセル (視角 20.0° × 20.0°) の領域であった。MOT 課題の反応取得にはマウスを用いた。また、LST 課題で聴覚呈示される刺激文と刺激語はヘッドフォン (BOSE 社製 Quiet Comfort 15) を介して呈示された。

実験刺激

MOT 課題の呈示刺激は、正弦波縞を 2 次元ガウス関数で変調した白黒のガボールパッチであった。ガボールパッチの大きさは縦横がおおよそ視角 2.0° × 2.0° であり、灰色背景上に 10 個のガボールパッチが呈示され、MOT 課題中はこの領域内をランダムな方向に等速運動した。なお、個々のガボールパッチは互いにすれ違いによる重なりが生じないように制約を設けた軌跡に沿って運動した。各試行の開始から 1s の間は、標的刺激として追跡を求めるガボールパッチは赤と緑の縞で表示され (Figure 1)、その後、他の刺激と同一の白黒縞に変化し、一定時間の間、領域内を運動した。

LST 課題では、佐々木 (2006) が作成した日本語版集団式 LST リストを元に、一部修正を加えたものを音声読み上げソフト VOICE (Rb-cafe 社製) で音声化し呈示刺激とした。LST リストは、刺激文と刺激語のセットで構成され



Figure 1 MOT 課題で呈示される初期画面の例 (標的数が 3 個の場合)

た。呈示される刺激文の数には、2文条件、3文条件、4文条件、5文条件の計4条件があり、条件ごとに刺激文と刺激語が3セット用意された。例えば、2文条件では、1つめの刺激文と刺激語に続いて2つめの刺激文と刺激語が呈示され、これらを1セットとした。これにより、LST課題全体では刺激文と刺激語のペアは計42種類であった。LST課題に用いたすべての刺激文と刺激語のリストは付録に示すとおりである。

要因計画

本実験は2つのセッションから構成された。セッション1ではMOT課題のみを行い、階段法により90%以上の精度で追跡可能な標的アイテム数を実験参加者ごとに測定した。また標的追跡時間として3条件を設けた。各条件はセッション2でMOT課題と同時に進行するLST課題における3文条件、4文条件、5文条件それぞれの1セット分の時間長と同期するように設定され、3文条件では1500フレーム（約18s）、4文条件では2000フレーム（約24s）、5文条件では2500フレーム（約30s）とした。追跡時間に条件を設けた理由は、セッション2においてMOTとLSTのマルチタスクを行うとき、LSTの文条件によって試行時間が異なることによる。もしセッション1のMOT課題において追跡時間を統一した場合、セッション2の各文条件の試行時間の長さに応じてMOTの標的追跡時間も変化することで、標的追跡成績が影響される可能性が考えられる。セッション2の結果をLSTの文条件ごとの試行時間の長さを含めて分析するために、あらかじめLSTの文条件ごとの試行時間の長さにあわせてMOTの標的追跡成績を査定した。実験参加者は3つの標的追跡条件のいずれかに無作為に割り当てられた。

セッション2では、実験参加者にMOT課題とLST課題の同時遂行を求めた。MOT課題はセッション1で査定した実験参加者ごとの標的数で固定し、すべての試行を行った。LST課題は2文条件から5文条件で各3試行を行い、計12試行を行った。

以上により、セッション1は標的追跡時間（1500、2000、2500フレーム）を実験参加者間要因とした1要因計画、セッション2は標的追跡時間を実験参加者間要因、課題の種類（MOT課題、LST課題）とLST課題の文条件（2文、3文、4文、5文）を実験参加者内要因とした3要因混合計画であった。

手続き

実験参加者はCRTモニタの正面に約60cmの観察距離をおいて着席し、あご台によって観察距離は固定された。セッション1では実験参加者がマウスをクリックすることで試行が開始された。はじめに標的を含む計10個のアイテムからなるレイアウト画面が呈示された。この画面において、標的アイテムは赤緑縞で、その他の妨害アイテムは黒白縞で呈示され、実験参加者はどのアイテムが追跡すべき標的であるかを確認した。画面をクリックすることで10個のアイテムはランダムな方向に等速運動を開始し、開始から1s後に標的アイテムも黒白縞に変化した。実験参加者は標的追跡時間の間、複数標的の同時追跡を行った。追跡時間が経過するとすべてのアイテムは静止し、実験参加者はアイテムをマウスでクリックすることで標的アイテムの同定を行った。以上の流れを1試行とした。追跡する標的数の初期設定は1とし、10試行を行った。10試行分の平均標的的同定率が90%以上であった場合、標的数は1つ増加し、90%未満であった場合、標的数は1つ減少させることで10試行を行った。この10試行分の平均同定率により、標的数を階段法の手続きで操作し、標的数の増減の変化が5回に達したとき、平均同定率が90%以上であればそのときの標的数が、90%未満であれば標的数から1つ減じた標的の個数を視空間性ワーキングメモリの保持容量の指標とした。

セッション2では、実験参加者はヘッドフォンを装着し、セッション1で査定した標的数のMOT課題と同時にLST課題を行った。LST課題の回答方法は回答冊子を用いて直接記入する形式であった。MOTの標的追跡時間は

LST の音声刺激の終了と同期しており、実験参加者には試行ごとに MOT 課題の標的の同定を行った後、LST 課題の回答を冊子に記入するように教示した。本実験で用いた佐々木 (2006) の LST 課題は、刺激文の内容が飲食に関するものであるか否かの判断と、各刺激文の後に呈示される刺激語の再生の二重課題であった。なお、LST 課題は各文条件が3試行ずつの計12試行であり、2文条件から5文条件へと課題の難易度は徐々に上昇した。セッション2の課題成績の評価は、MOT 課題は LST 課題の文条件ごとの平均標的の同定率であり、LST 課題は、刺激文の内容判断が正解であったときの刺激語の平均再生率であった。セッション2における1

試行の流れは Figure 2 に示すとおりである。

各セッションの初めに練習試行を行った。セッション1では標的数1個の試行を4回、セッション2では練習試行用の2文条件を2回行った。セッション1では実験参加者によっては長時間の集中が求められるため、各試行間で適宜小休憩を取ることができた。また、セッション1とセッション2の間にも任意で5分程度の休憩を取ることができた。実験参加者には MOT 課題ではできるだけ正確に標的アイテムを同定すること、LST 課題では刺激文の内容判断と刺激語の再生をできるだけ正確に行うことを教示した。実験に要した時間はおよそ60minであった。

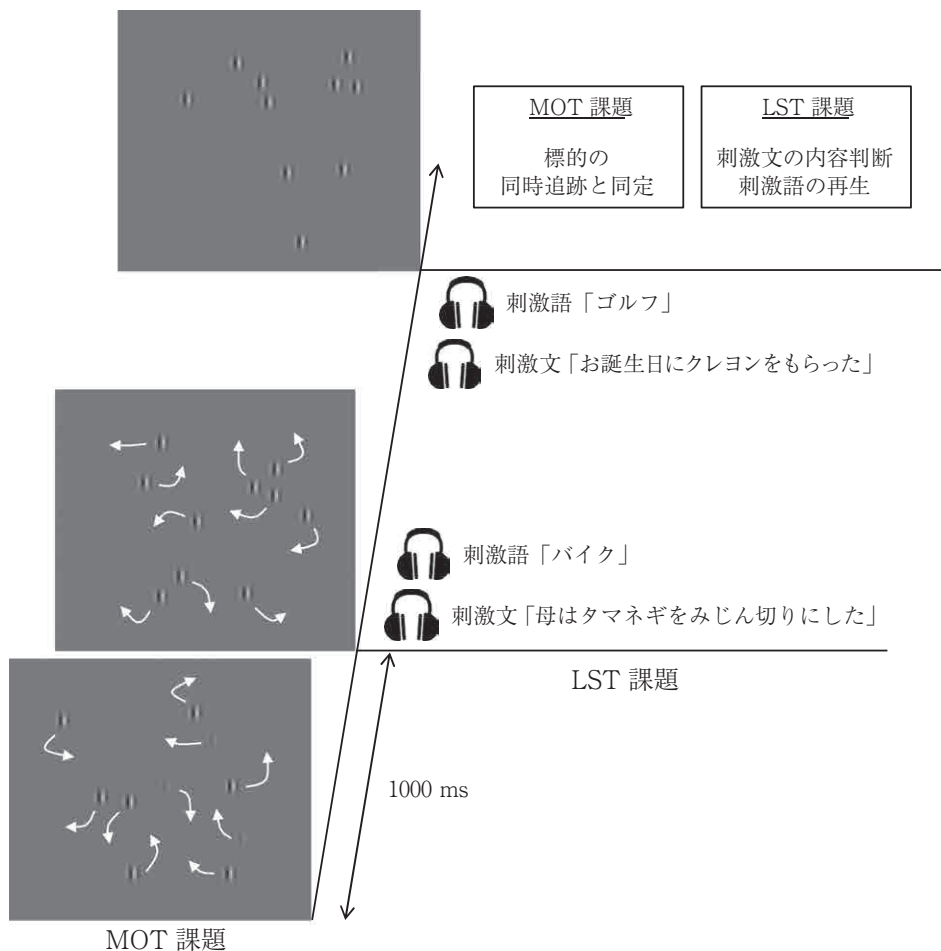


Figure 2 セッション2 (マルチタスク事態) における1試行の流れ

結果

セッション1のMOT課題では、標的の平均同定率90%以上を基準として安定的に同時追跡可能な状況と定義し、その標的数を実験参加者ごとに査定した。セッション2では、セッション1で査定した実験参加者ごとの標的数で固定した状況でMOT課題とLST課題の同時遂行を求めた。セッション2におけるMOT課題の標的追跡時間とLST課題の刺激語の再生率を分析対象とした。標的追跡時間、課題の種類、LSTの文条件を要因とした3要因分散分析を行った。

分析の結果、標的追跡時間の主効果および標的追跡時間を含むすべての交互作用は有意ではなかった。このことから、セッション1のMOT課題における標的追跡時間の長さはセッション2の文条件の違いによって追跡時間が延長した場合においてもMOT課題成績には影響しなかったことが確認された。

LST課題の文条件(2文、3文、4文、5文)の主効果($F(3, 90) = 51.26, p < .001, \eta_p^2 = .63$)と課題の種類(MOT, LST)の主効果($F(1, 30) = 17.73, p < .001, \eta_p^2 = .37$)がそれぞれ有意であった。各文条件におけるMOT課題とLST課題の全体の正答率は、2文条件で94%、3文条件で90%、4文条件で76%、5文条件で69%であり、2文条件から5文条件へとLST課題

の難易度の上昇にともなって正答率は低下した。また、MOT課題の平均正答率は86%、LST課題の平均正答率は78%であり、MOT課題の方がLST課題よりも正答率は高かった。

課題の種類とLST課題の文条件の交互作用が有意であり($F(3, 90) = 8.31, p < .001, \eta_p^2 = .22$)、文条件ごとの正答率の変化は課題の種類によって異なった。この文条件の違いによる各課題の正答率の変化はFigure 3に示すとおりである。

下位検定の結果、4文条件における課題の種類の単純主効果が有意であり($F(1, 120) = 19.11, p < .001, \eta_p^2 = .14$)、4文条件ではLST課題の正答率はMOT課題よりも低かった。さらに5文条件においても課題の種類の単純主効果が有意であり($F(1, 120) = 25.89, p < .001, \eta_p^2 = .18$)、LST課題はMOT課題よりも正答率は低かった。2文条件と3文条件では課題の種類の単純主効果は有意ではなかったことから、LST課題の刺激文が増大し、課題の難易度が上昇することにより課題間の正答率に差異が生じることが確認された。また、LST課題における文条件の単純主効果が有意であり($F(3, 180) = 50.46, p < .001, \eta_p^2 = .46$)、3文条件と4文条件($t(180) = 6.15, p < .001, r = .42$)と、4文条件と5文条件($t(180) = 2.54, p < .05, r = .19$)において正答率は有意に低下した。一方、MOT課題における文条件の単純主効果も有意($F(3, 180) =$

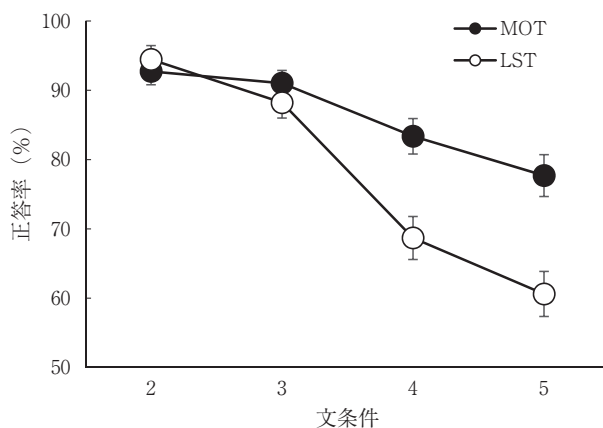


Figure 3 文条件の違いによる MOT 課題と LST 課題の正答率の変化

9.66, $p < .001$, $\eta_p^2 = .14$) であり、3文条件と4文条件の間で正答率は有意に低下した ($t(180) = 2.41$, $p < .05$, $r = .18$) した。このことから、LST課題の刺激文の増大はMOT課題の成績にも影響することが明らかになった。しかし、MOT課題の正答率はLST課題の正答率よりも有意に高かったことを踏まえると、これはMOT課題とLST課題のマルチタスク事態において、LST課題の難易度の上昇にともなう注意資源の枯渇はMOT課題の遂行に影響したものの、影響の度合いはそれほど大きくなかったと解釈できる。以上の結果から、課題の種類によって文条件ごとの正答率の変化パターンは異なること、文条件によってLST課題の難易度が上昇することによってLST課題の成績の低下はMOT課題に比べて顕著であることが明らかになった。

考 察

本研究の目的は、ワーキングメモリの保持容量が情報のモダリティに対して固有性を持つのか否かについて検討することであった。このために、本研究では視空間性ワーキングメモリ課題としてMOT課題を、言語性ワーキングメモリ課題としてLST課題を設定し、両課題を同時遂行することにより、モダリティの異なる情報の同時的保持を要求するマルチタスク事態を設定した。ワーキングメモリに関する主要なモデルとしてBaddeley & Hitch (1974) やBaddeley (2000) による情報モダリティに固有の貯蔵庫を仮定するものと、Cowan (1999) による情報モダリティに依存しない単一の貯蔵庫を仮定するものがあり、両モデルの妥当性をめぐって、情報の保持容量に関しては先行研究間で概ね一致した知見が得られている (Luck & Vogel, 1997; Cavanagh & Alvarez, 2005; 苧阪, 2012)。一方、それぞれのモデルが仮定する貯蔵庫の領域固有性に関する検証は十分とはいえない。Shah & Miyake (1996) は個別に測定された言語性ワーキングメモリに関わるRST課題と文章理解のような他の言語性高次認知課題の成績の間に有意な正の相関を認めただけで、

個別に測定されたRST課題と視空間性ワーキングメモリに関わる空間スパン課題の成績には相関が見られなかったことを根拠として情報モダリティに固有の貯蔵庫の存在を支持している。しかし、この結果は、保持情報のモダリティの違いによって情報のまとまりの程度も異なることを仮定すれば、一定容量内に保持可能な情報量もモダリティの影響を受けることになるため、単一の貯蔵庫を想定したモデルでも説明ができないわけではない。本研究では、マルチタスク事態における2種類のワーキングメモリ課題の成績を指標とすることで、情報の貯蔵様態に関するこれらのモデルの妥当性を検証した。

実験の結果、MOT課題とLST課題のマルチタスク事態において、LST課題の難易度の上昇にともなってMOT課題とLST課題の成績は低下したものの、LST課題の成績低下はより顕著であった。Baddeley & Hitch (1974) が提唱したワーキングメモリの初期モデルでは、視空間的情報の保持に関わる視空間スケッチパッドと、聴覚言語的情報の保持に関わる音韻ループの2つの保持システムを仮定し、さらに両システムの働きは中央実行系によって統括、調整される。本実験におけるマルチタスク事態では、MOT課題の遂行に必要な視空間性情報の保持と更新は視空間スケッチパッドによってなされ、LST課題の遂行に必要な聴覚言語性情報の保持は音韻ループによってなされることになる。本実験では、あらかじめMOT課題において安定的に同時追跡可能な標的数を実験参加者ごとに査定し、これを個人ごとの視空間スケッチパッドの保持容量を反映したものと位置づけた。その上でLST課題とのマルチタスクを課したとき、視空間的情報の保持には関わらない聴覚言語情報の保持に固有の音韻ループが存在するならば、LST課題は音韻ループの働きによって遂行可能であるため、MOT課題の成績はLST課題の難易度による影響を相対的に受けにくいと考えられる。本実験の結果はこの予測に合致するものであり、少なくとも、情報モダリティに依存しない単一の貯蔵庫を仮定する

Cowan (1999) のモデルでは説明できない。なぜならば、マルチタスク事態における MOT 課題では標的数を固定しており、難易度は一定であるのに対し、LST 課題は文条件によって難易度は変化する状況であった。そのため、LST 課題の遂行における難易度の上昇は保持すべき聴覚言語情報の増大を意味するため、単一の貯蔵庫を想定した場合、保持される情報量にはモダリティ間でトレードオフが生じるはずである。これらの結果は、情報モダリティごとに固有の保持システムを仮定する Baddeley (2000) のモデルを支持するものである。

複数の課題を迅速かつ正確に同時に遂行することは、処理資源としての注意の配分の観点から、課題の難易度や課題遂行時間などにおいてかなりの制約が生じるはずである。本実験で行った MOT 課題と LST 課題はそれぞれが決して容易なものではなく、また課題遂行時間も長めに設定されていたことを踏まえると、マルチタスク事態における各課題の成績は、一般に想定されるよりもかなり良好であった。しかし、この結果を人間のマルチタスクの遂行能力の特性として単純に解釈するべきではないのかもしれない。Wickens (1984) の多重資源理論によれば、複数の課題を同時に遂行する際に必要とされる処理資源は、遂行する課題に関する刺激モダリティや刺激に対して求められる処理レベル、反応方法などによって異なることされている。例えば、図形の弁別をキー押しで反応する課題と、音を聴取して音声反応する課題とでは必要とされる処理資源は異なるということである。多重資源理論では、同時遂行する課題間で同一の処理資源が共有される場合において干渉が生じ、課題遂行成績は低下すると説明される。一方で、課題間で必要とされる処理資源が共有されない場合においては同時遂行しても成績には影響しない。この考え方に従うと、本実験では、LST 課題は聴覚刺激の言語性情報の保持を、MOT 課題は視覚刺激の視空間情報の保持を求めるものであることから、刺激モダリティや処理レベルにおいて処理資源の共有は生じていないため、結果としてマルチタスクの成

績は良好であったと解釈できる。また、セッション1における MOT 課題では、標的の同時追跡時間が条件によって異なり、特に1500フレーム条件に割り当てられた実験参加者は、セッション2のLST課題で4文、5文条件においてかなり長い時間の標的追跡を求められ、より多くの注意資源を要したにもかかわらず、全体としてセッション1における追跡時間条件の群間の効果は見られなかったことも、同様に解釈可能である。

本研究では、MOT 課題は視空間性ワーキングメモリに、LST 課題は言語性ワーキングメモリに対応するものとして位置づけることでワーキングメモリモデルにおける保持システムの存在を検証した。結果は、視空間情報と聴覚言語情報に固有の保持システムを仮定する Baddeley (2000) のモデルの妥当性を支持するものであったが、課題設定における問題点も挙げられる。LST 課題で呈示されるのは聴覚刺激としての刺激文と刺激語であるが、通常、言語性情報は呈示モダリティが視覚であっても聴覚であっても視覚的なイメージ化は可能であり、特に、刺激文の内容についての正確な保持が求められる LST 課題では言語性情報のイメージ化方略は有効であったのかもしれない。そしてこのイメージ化方略は、刺激の呈示モダリティが聴覚であっても視空間スケッチパッドでの保持を促した可能性は否定できない。その場合、マルチタスク事態における MOT 課題の成績が LST 課題の難易度の上昇にもなって多少低下するという結果をもたらしたとする解釈も可能であろう。実験参加者の課題遂行方略がマルチタスク事態における課題間の成績の差にどの程度影響するのかについては、ワーキングメモリモデルにおける視空間スケッチパッドと音韻ループの保持機能の柔軟性にも関わる問題としても位置づけられ、多重資源理論からみた課題間における処理資源の共有の有無の問題も含めた検討は、日常場面におけるワーキングメモリの機能性に関する包括的理解に向けて今後の課題である。

引用文献

- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of learning and motivation*, **2**, 92–106.
- Baddeley, A., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation: Advance in research and theory*, **8**, 47–89.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, **4**, 417–423.
- Brainard, D. H. (1997). The Psychophysics Toolbox. *Spatial Vision*, **10**, 433–436.
- Cavanagh, P., & Alvarez, G. A. (2005). Tracking multiple targets with multifocal attention. *Trends in Cognitive Sciences*, **9**, 349–354.
- Cowan, N. (1999). *An embedded-process model of working memory*. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. pp. 62–101.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, **24**, 87–185.
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, **19**, 51–57.
- Daneman, M. & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **19**, 450–466.
- De Fockert, J. W., Rees, G., Frith, C. D., & Lavie, N. (2001). The role of working memory in visual selective attention. *Science*, **291**, 1803–1806.
- Kleiner, M., Brainard, D. H., & Pelli, D. G. (2007). “What’s new in Psychtoolbox-3?”. *Perception (ECP Abstract Supplement)*, **36**, 14.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, **390**, 279–280.
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, **63**, 81–97.
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature of organization of individual differences in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Sciences*, **21**, 8–14.
- 荻阪 直行 (2012). 前頭前野とワーキングメモリ 高次脳機能研究, **32**, 7–14.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming number into movies. *Spatial Vision*, **10**, 437–442.
- Pylyshyn, Z., & Storm, R. (1988). Tracking multiple independent objects: Evidence for a parallel tracking mechanism. *Spatial Vision*, **3**, 179–197.
- 佐々木 尚 (2006). 成人用集団式リスニングスパンテストの開発 慶応義塾大学大学院社会学研究科紀要, **62**, 198–202.
- Shah, P., & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, **125**, 4–27.
- Wickens, C. D. (1984). *Processing resources in attention*. In R. Parasuraman & D. R. Davies (Eds.). *Varieties of attention*. pp. 63–102.

付録

	刺激文		内容判断	刺激語	
	本実験用	オリジナル		本実験用	オリジナル
練習試行	母はタマネギをみじん切りにした		○	バイク	
	お誕生日にクレヨンをもらった		×	ゴルフ	
	娘はグラタンが大好きだった		○	モデル	
	私は昨日自転車を盗まれた		×	地震	
2文条件	今朝は寒かったのでストーブをつけた		×	毛布	
	私は彼のためにセーターを編んだ		×	かつら	
	サツマイモを食べると昔を思い出す	ジャガイモを食べると昔を思い出す	○	ノルマ	
	彼のソロバンの腕は一流だった		×	いのち	
	彼はニンジンが大嫌いだった	彼はどら焼きが大嫌いだった	○	手紙	
	木材が不足して工事ができない	セメントが不足して工事ができない	×	お金	
3文条件	マカロニで何を作ろうかと考える	マカロニで何か出来ないか考える	○	畑	
	鉛筆をなめながら彼は考えた		×	歴史	
	すき焼きは月に一度のご馳走だった		○	日本	
	父のチャーハンが思い出される		○	うさぎ	
	ふりかけを切らしたのでがっかりした		○	からだ	
	最近ガソリンの値段が高くなった		×	ポスト	
	彼は納豆をうまそうにかきこんだ		○	映画	
この目薬は一日3回さしてください		×	あした		
	そのとき腐った牛乳の匂いがした	○	元気	頭痛	
4文条件	このラケットは僕の一生の宝物だ		×	記念	
	昨日学校でハンカチを落とした人がいる		×	機会	
	昨日スーパーでジュースを買った	昨日駄菓子屋でサイダーを買った	○	前後	
	昨日彼女からチョコレートもらった	昨日彼女からクッキーもらった	○	変化	
	毎年大晦日にざるそばを食べた		○	パンツ	
	お土産にマツタケを買っていった		○	カメラ	
	私はいつも給食が楽しみだった		○	気持ち	
	彼女は昔マッシュマロをよく食べた		○	指輪	
	おばは私に豚肉を買いに行かせた		○	嵐	
	母はアイロンをかけるのが上手だった	母はアイロンをかけるのが上手だ	×	保存	
	運転手はハンドルを切りそこなった		×	曜日	
旅行の土産にカステラを買った		○	試験		
5文条件	先日私は喫茶店でトーストを頼んだ		○	ミシン	
	彼はブランコから勢いよく飛び降りた		×	さくら	
	今回もロケットの発射に失敗した		×	ひよこ	うがい
	私は焼き鳥を肴に酒を飲んだ		○	不思議	本気
	早く人型のロボットが活躍して欲しい		×	涙	おなら
	牛肉の缶詰をリュックに詰めた		○	みんな	
	アンテナが故障したので修理した		×	トカゲ	
	彼の好物はおにぎりだった		○	ひがし	
	その赤ん坊はスプーンを落として泣いた	その赤ん坊はスプーンを落として泣いた	×	秘密	意外
	学校の帰りにカラオケをした		×	イルカ	
	テストの日に消しゴムを忘れた	試験の日に消しゴムを忘れた	×	ボタン	
	雨のせいでブラウスがびしょ濡れだ	雨のせいでブラウスがぐしょぐしょだ	×	キツネ	
	私は肉まんを三個買って食べた		○	スリム	
	パソコンを使って実験の準備をする		×	季節	
昨日彼は自分のアパートに戻った		×	トンボ		