

視空間作業記憶の容量制約性と視覚的イメージ処理の関連³川原正広¹ 松岡和生²

本研究では、Logie(1995)の作業記憶モデルなどで視空間スケッチパッド内に仮定される空間的下位システムと視覚的下位システム両者の資源容量の個人差が、視覚イメージの鮮明性や統御性のような視覚的イメージ処理の個人差にどのような影響を及ぼすか、視空間作業記憶容量を測定する課題であるVWMST(SPACE TASK, PATTERN TASK A条件, B条件)やメンタルローテーション, VVIQなどの課題を用いて検討を行った。相関分析や共分散構造分析を用いたVWMSTとイメージ課題間の因果関係モデルの構築によって、SPACE TASKの得点がMRT得点と関連する結果が得られた。またPATTERN TASKではA条件の得点のみが、MRT得点, VVIQ得点と関連する結果が得られた。これらの結果から、視空間作業記憶の空間的下位システムと視覚的下位システム両者の資源容量の個人差が、メンタルローテーションで測定される視覚イメージの統御性の個人差に、視覚的下位システムの資源容量の個人差がVVIQで測定される視覚イメージの鮮明性の個人差に密接に関わることが明らかとなった。

Baddeley & Hitch(1974)が短期記憶の概念を発展させる形で提唱した作業記憶(Working Memory)に関しては、Baddeley(1986)のモデルが提案されて以来、多くの多要素モデル(Multi-Component Model)が提案されてきた。

Baddeley(1986)のモデルは、会話や文章理解など言語的な情報処理に関わる音韻ループ(Phonological Loop)と、視覚イメージなど言語化できない情報の処理に関わる視空間スケッチパッド(Visuo-Spatial Sketchpad)の2つの従属システムと、これら2つの従属システムを制御する中央実行系(Central Executive)の3つの下位システムによって構成されている(船橋, 2000)。

この3つの下位システムの中で視空間スケッチパッドは、特に理論的妥当性の検証が軽視されてきた下位システムであった(Pearson, 2001)。しかし近年、fMRIなどの非侵襲的方法を用いた脳画像の検討や、コンピュータ性能の向上による高度な実験手法や分析手法を取り入れた検討が可能

となったことにより、視空間スケッチパッドの概要を説明したモデルが徐々に提案され始め(e.g., Logie, 1995; Pearson, 2001), システム内の内的過程や機能的役割が解明されつつある。

Logie(1995)は、視空間スケッチパッド内に、色や形などの視覚的な情報の保持に関わる受動的な貯蔵システムである“視覚キャッシュ(Visual Cache)”と、位置や系列といった空間情報の保持や身体運動のプランニングに関わる能動的な処理システムである“インナースクライブ(Inner Scribe)”の2種類の下位システムからなるモデルを提案した。このモデルで仮定された視覚的な保持システムと空間的な処理システムの存在は、二重課題法などの実験的手法を用いた検討から得られた、空間タッピングなどの同時の動作課題は空間的なマトリクス課題の遂行を妨害するが、静的な視覚パターンの短期的な保持は妨害しないという結果(Quinn, 1988, 1991)や、空間的な二次課題の遂行は色、形、静的パターンの短期的な保持に妨害を及ぼさなかったという結果(e.g., Logie & Marchetti, 1991; Tresch, Sinnamon & Seamon, 1993)などによりある程度の支持が得ら

¹ 東北大学情報科学研究科

² 岩手大学人文社会科学科

³ 本研究の一部は2006年日本心理学会“ワーキングメモリと心的イメージ”のワークショップにて発表された。

れている。

ところで Logie(1995)のモデルでは、視空間スケッチパッドにおける重要な機能の1つとして心的イメージ処理を挙げている。これまで心的イメージ処理に関する多くの先行研究では、視覚的な記憶イメージや想像イメージが研究対象とされてきた(菱谷, 1993)。そしてメンタルローテーション(Mental Rotation ; Shepard & Metzler, 1971)のようなイメージ操作を要求する課題や、視覚心像鮮明性質問紙(the Vivid-ness of Visual Imagery Questionnaire : VVIQ ; Marks, 1973)のようなイメージの鮮明性を測定する質問紙を用いた検討から、個人のイメージ能力にはかなりの相違があることが明らかにされている(畠山, 2001; 菱谷, 1993)。

イメージ能力を表す指標には様々なものがあるが、たとえば VVIQ で測定されるイメージの“鮮明性”とは、思い浮かべるイメージの鮮やかさに関する指標である(畠山, 2001)。菱谷(1993)は、鮮明なイメージには多くの情報が存在することを指摘している。心的情報処理資源の観点から考えると、鮮明なイメージが持つ情報を処理するためには、より多くの情報処理資源を必要とすることが考えられる。Logie(1995)は、視覚イメージの現象体験は、視覚的下位システムに一時的に保持された内容に中央実行系が作用した結果であるとしている。この Logie の知見を考慮すると、視覚的イメージの鮮明性には、視覚的下位システムの容量の個人差が関連することが推測される。

一方メンタルローテーションのようなイメージ操作課題で測定されるイメージの“統御性”とは、生成されたイメージの操作や制御に関する能力である(菱谷, 1993)。イメージ操作課題の遂行には、心的過程の中に一時的な表象を保持しつつ、その表象を回転させる作業が要求される(荳阪, 2000)。このため課題の遂行には、回転したイメージの空間情報を処理する空間的下位システムだけでなく、一時的な表象を保持する視覚的下位システムも関わることが予測される。したがってイメージ操作課題の遂行能力には、空間的下位システムと視覚的下位システム両者の容量の個人差が関連するこ

とが推測される。

作業記憶が持つ容量制約性という特徴からイメージ処理の個人差について考えるならば、当然より大きな作業記憶容量を持った個人がイメージ処理の遂行に優れていることが推測される。しかし実際のイメージの鮮明性と記憶容量の個人差に関する研究(e.g., Chara & Hamm, 1989; Hanggi, 1989; Heuer, Fischman, & Reisberg, 1986)からは、これまでにイメージの鮮明性と記憶容量の関連性を示す統一した見解は得られていない。またこれまでのイメージ処理と作業記憶に関する先行研究では、作業記憶内に想定される下位システムがどのようなイメージ処理に関わるかという構造的側面からの検討が多く、下位システムの容量がイメージ処理の個人差にどのように関与するかについては具体的な指摘がなされていない。

これらの先行研究における問題を考慮すると、作業記憶容量とイメージ処理の関連については十分な検討がなされていないように思われる。そこで本研究では、作業記憶の下位システムの中でも特に視空間作業記憶に検討の対象を絞り、記憶容量の個人差とイメージ処理の個人差の関連について検討する。具体的には、Logie(1995)のモデルにおいて視空間作業記憶内に仮定されている空間的下位システムと視覚的下位システムの両者の容量の個人差が、空間的イメージ操作能力、イメージ鮮明性の個人差にどのように関わるか検討を行う。

視空間作業記憶の空間的な下位システムの容量を測定する課題には、Shah & Miyake(1996)による空間スパン課題(Spatial Span Test)がある。しかしその一方で、視覚的な下位システムの容量の測定に類似したスパン形式課題はほとんど見当たらない。川原(2004)は、視空間作業記憶容量の個人差を検討することを目的とした視覚的ワーキングメモリスパンテスト(Visual Working Memory Span Test : VWMST)を作成している。この課題は、個人の空間的下位システムの容量測定を目的とした SPACE TASK と、視覚的下位システムの容量測定を目的とした PATTERN TASK の2種類の課題から構成されている。川原(2004)は、これ

ら2つの課題とリーディングスパンテスト、メンタルローテーション、Space Relations (Bennett, Seashore & Wesman, 1974)の3つの課題成績の比較から課題の妥当性を検証し、SPACE TASK, PATTERN TASK 両課題の成績が、メンタルローテーションの遂行に関連すると考えられる結果を報告している。VWMSTにおける両課題は、刺激に関する系列的な情報を一時的に保持しながら、現在の画面でターゲット刺激と一致した刺激を9つの探索刺激内から探し出し選択するという視覚探索を要求する点で、Corsi block 課題のような単なる刺激情報の系列的な保持を要求する短期記憶課題とは異なる。なぜならば、VWMSTの各課題は、先に呈示された刺激情報の一時的な保持とともに、ターゲット刺激と一致する刺激を探索刺激の中から探し出す視覚探索の処理も同時に行うことを要求する課題である。これまでも、視覚的に提示された視空間刺激を探索する作業に、視空間作業記憶内の下位要素が関与することが指摘されている(Desimone & Duncan, 1995; Woodman, Vogel & Luck, 2001)。このことを考慮すると、VWMSTの課題得点は、個人の視空間作業記憶の資源容量を示しているものと推測される。本研究では、視空間作業記憶内の空間的下位システムの容量だけでなく、視覚的下位システムの容量についてもイメージ処理との関連を検討するため、このVWMSTを個人の視空間作業記憶容量を測定する課題として採用する。ただし川原(2004)では、被験者がPATTERN TASKの刺激(テキストチャー)を記憶する際に言語化方略を用いるという問題が指摘されている。そこで本研究では、刺激記憶時の言語化方略対策のため、刺激に言語化が難しい無意味絵を採用した課題をB条件として新たに追加し、従来の刺激条件のA条件と共に実施する。一方個人の視覚的イメージ能力を測定する課題については、空間的なイメージ操作課題としてメンタルローテーションを、イメージ鮮明性の測定課題としてVVIQをそれぞれ実施する。そしてVWMST内の各課題とメンタルローテーション、VVIQの成績の関連から、視空間作業記憶内の視

覚的下位システム、空間的下位システム両者の資源容量の個人差が視覚的イメージ処理の個人差にどのように関連するか検討を行う。

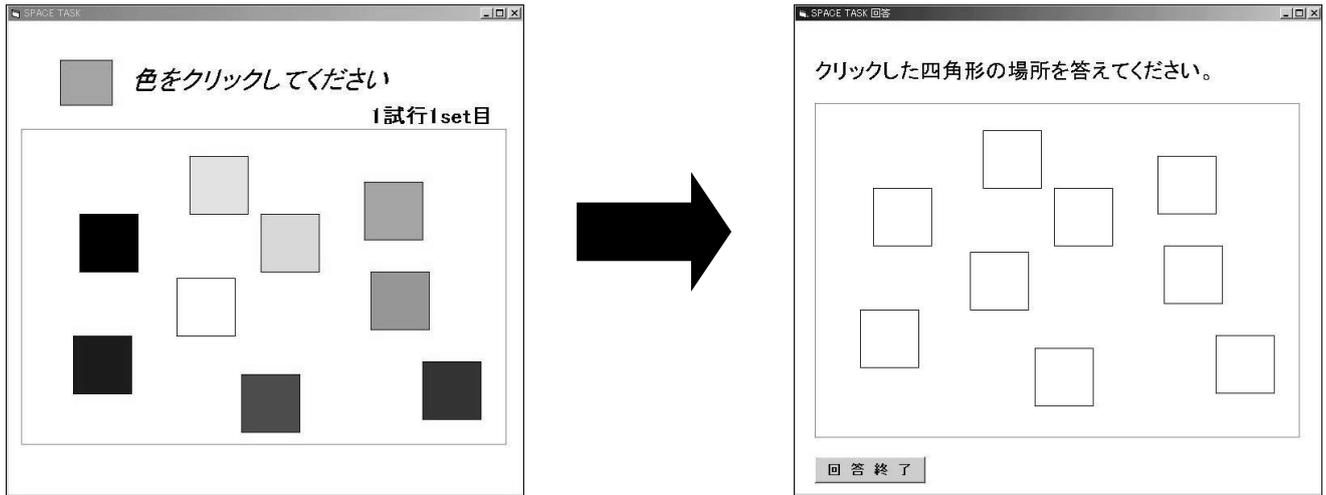
方 法

被験者 実験は岩手県内にある大学の学生・大学院生を対象として行われ、空間能力課題、心像テストには99名(男性41名、女性58名)が、VWMSTには43名(男性14名、女性29名)が被験者として実験に参加した。

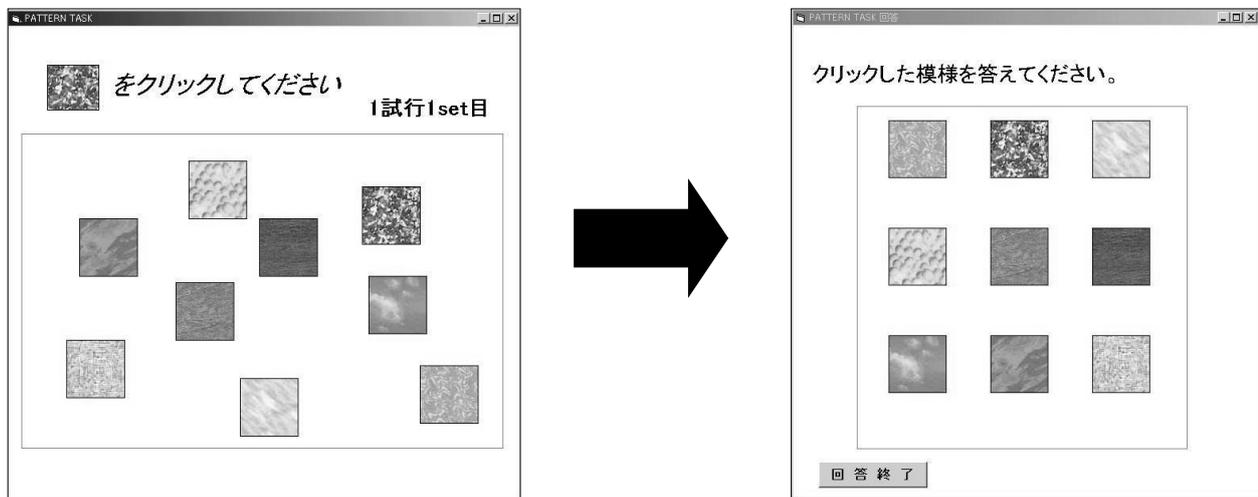
材料 VWMSTのSPACE TASKとPATTERN TASKは、ターゲット刺激と一致する探索刺激に対する処理と保持を要求する課題フェイズと、課題フェイズで保持した探索刺激に関する回答を要求する回答フェイズの2種類のフェイズブロックからなる課題であった。

SPACE TASKの課題フェイズは、9つの色(白・黒・赤・青・水色・黄色・紫・緑・ベージュ)から選択される1つのターゲット刺激(20mm×20mmの四角形)と、ターゲット刺激に選択可能な9つの色が配色された9つの探索刺激により構成された。課題フェイズの画面では、画面の左上にターゲット刺激が提示され、ターゲット刺激の色は試行ごとに9つの色からランダムに選択された。また9つの探索刺激はターゲット刺激の下に配置され、探索刺激には9つの色が探索刺激ごとに1つずつ割り当てられた。探索刺激の色は試行ごとにランダムに入れ換えられ、課題画面上に同じ色の探索刺激は存在しなかった。一方、回答フェイズ画面には、課題フェイズで記憶した四角形の場所をマウスでクリックしながら回答することを求める9つの白色の四角形が、課題フェイズの探索刺激と同じ位置に同じ大きさで配置された。

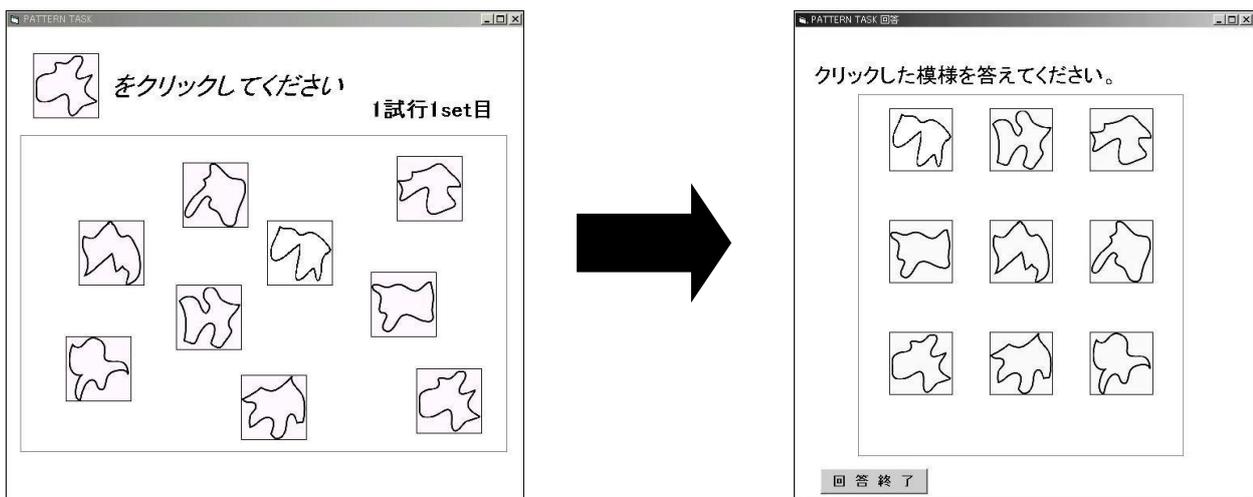
またPATTERN TASKのA条件の課題フェイズは、同系色の9つのテキストチャーの中からランダムに選択される四角形(20mm×20mm)によるターゲット刺激1つと、ターゲット刺激に選択可能な9つのテキストチャーがランダムに配置された9つの探索刺激により構成された。A条件の課題



(a) SPACE TASK



(b) PATTERN TASK A condition



(c) PATTERN TASK B condition

Figure 1. Screen of VWMST(Left : Task phase screen, Right : Answer phase screen)

フェイズ画面は、ターゲット刺激と探索刺激にテキストチャーを用いたこと以外は、SPACE TASKの課題フェイズ画面と同じ画面構成とした。一方、回答フェイズの画面は、課題フェイズで記憶したテキストチャーをマウスでクリックしながら回答することを要求する、9つのテキストチャー(課題フェイズの探索刺激と同じもの)により構成された。

さらに PATTERN TASK の B 条件の課題フェイズは、遠藤・齋木・中尾・齋藤 (2003)より作成された無意味図形から採用した9つの無意味図形を用い、ランダムに選択される四角形のターゲット刺激1つと、ターゲット刺激に選択可能な9つの無意味図形がランダムに配置された9つの探索刺激により構成された。B条件の課題フェイズ画面も、ターゲット刺激と探索刺激に無意味絵を用いたこと以外は、SPACE TASK や A 条件の課題フェイズ画面と同じ画面構成とした。一方、回答フェイズの画面は、課題フェイズで記憶した無意味図形をマウスでクリックしながら回答することを要求する9つの無意味図形(課題フェイズの探索刺激と同じもの)により構成された。

空間イメージ操作能力課題、心像テスト 個人の空間イメージ操作能力を測定する課題としてペーパーテスト版のメンタルローテーション(以下 MRT と略する;Vandenberg, 1971)を、個人の心像能力を測定する課題として視覚心像質問紙 VVIQ の日本語版(菱谷, 2005)をそれぞれ用いた。

手続き イメージテストは MRT, VVIQ の順に集団で実施された。MRT は、1セット20問の設問で構成されたペーパーテストに2分間でできるだけ正確に、かつ可能な限り多くの問いに解答することが求められ、合計で2セットが行われた。一方 VVIQ の質問項目への回答は、被験者のペースに委ねられた。

VWMST は、MRT, VVIQ を受けた被験者の中から実験への協力許可が得られた者を対象として、後日、個別に行われた。

VWMST の SPACE TASK では、まず初めに課題フェイズにて3回連続でターゲット刺激と同じ色の四角形を探索刺激から選択し、マウスでクリ

ックしながらその四角形の場所を記憶する課題を行わせ、その後回答フェイズにて探索刺激をクリックしながら記憶した四角形の場所を順不同で回答させた。この条件を1セットとして同じ作業を5セット行わせた。5セット中3セット以上正解であった場合、その回数条件をパスしたものとし、1セットの中で行う課題の回数を1つ増やし4回として、同様の作業を5セット行わせた。以後各回数条件をパスした場合、1セットで行う課題の数を1つずつ増やし、各回数条件で5セットずつ行わせた。ある回数条件で3セット以上正答できなかった場合そこで課題を終了させた。

PATTERN TASK は、A 条件、B 条件共に同じ手続きを用いて行われた。まず初めに課題フェイズにて2回連続でターゲット刺激と同じテキストチャー(B 条件では無意味図形)の四角形を探索刺激から選択し、マウスでクリックしながらそのテキストチャー(無意味図形の形)を記憶する課題を行わせ、その後回答フェイズにて記憶したテキストチャー(無意味図形の形)を回答させた。この条件を1セットとし、同じ作業を5セット行わせた。5セット中3セット以上正解の場合、その回数条件をパスしたものとし、同様の作業を5セット行わせた⁴。次に1セットの中で行う課題の回数を1つ増やし3回として、同様の作業を5セット行わせた。以後各回数条件をパスした場合、1セットで行う課題の数を1つずつ増やし、各回数条件で5セットずつ行わせ、ある回数条件で3セット以上正答できなかった場合そこで課題を終了した。

VWMST の各課題の実施順は被験者間でカウンターバランスを取り行われた。

また、全ての実験終了後に VWMST を行った被験者には、VWMST を行う上で用いた方略や、課題の難易度などの内省を報告することが求められた。

⁴ VWMST 作成時に行った事前の予備実験では、PATTERN TASK(A 条件)の開始試行を SPACE TASK と同様の3試行条件に設定し、実験を行った。しかし、予備実験に参加した被験者の中で数名の者が3試行条件をクリアできなかった。そのため PATTERN TASK の開始試行数を2試行に設定した。以後、A 条件、B 条件共に2試行回数条件をクリアできなかった被験者は認められていない。

得点の算出 MRT の得点は, Vandenberg(1971)に基づいて算出され, 1 つの問題内でターゲット図形と同じ図形を四つの選択図形の中から 2 つを選び, 両方の答えが正しかった場合のみ, その問題を正解したものとし 2 点を与えた。選択した 2 つの答えのうち 1 つしか正解できなかった場合には不正解として得点を与えなかったが, 制限時間に達したために問題を 1 つしか回答できず, その回答が正解であった場合には 1 点を与えた。そして 2 セットの合計得点を個人の MRT 得点とした。VVIQ については 16 項目の合計点を個人の VVIQ 得点とした。尚 VVIQ の得点は, 得点が低いほど鮮明な視覚イメージを想起できることを示している。

VWMST の得点は, SPACE TASK, PATTERN TASK の A 条件, B 条件全て川原(2004)に基づいて算出され, 課題を最後にパスした回数条件での 1 セットの課題の数を得点とした。ただし, パスできなかった回数条件で 5 セット中 2 セット正解の場合はその得点に 0.5 点が付け加えられた。

結 果

分析は全てのテストを受けた 43 人のデータを用いて行った⁵。

空間的作業記憶容量及び視覚的作動記憶容量と空間的イメージ操作能力, イメージ鮮明性間の関連についての検討 まず初めに, 視空間作業記憶に仮定される空間的な下位システムの容量と空間的イメージ操作能力, イメージ鮮明性の関連を検討するために, VWMST の SPACE TASK の得点と MRT, VVIQ の得点間の単純相関係数の分析を行った(Table 1)⁶。

⁵ 全ての変数間の散布図を確認したところ, 変数間に曲線的な回帰は認められなかった。

⁶ SPACE TASK では, 探索刺激の位置情報の記録の際手の動作など身体的な方略が位置情報の記録を促進する可能性も考慮されるが, 被験者に対して実験終了後に行った探索刺激の位置情報を記録する際に用いた方略について報告を求めたところ, 位置情報の記録に手や体の動きなどの身体的な方略を用いて行ったことを報告した被験者はいなかった。このため, 被験者の身体的な動作が SPACE TASK の成績に影響を及ぼした可能性は低いと考えられる。

Table 1. Correlation between VWMST, MRT and VVIQ(n=43)

	SPACE TASK	PATTERN TASK A条件	PATTERN TASK B条件	MRT	VVIQ
SPACE TASK	—	.165	.216	.450**	-.113
PATTERN TASK A条件		—	.609**	.359*	-.329*
PATTERN TASK B条件			—	.203	-.258+
MRT				—	-.276+
VVIQ					—

+ $p < .10$ * $p < .05$ ** $p < .01$

その結果 SPACE TASK と MRT の得点間に正の相関が認められた($r=.450, p<.01$)。だがその一方で SPACE TASK の得点と VVIQ の得点間には相関が認められなかった。

SPACE TASK の得点と MRT の得点の間に相関が認められた結果からは, 空間的イメージ操作課題の遂行能力の個人差に空間的な下位システムの容量の個人差が関連することが示唆される。

次に視空間作業記憶に仮定される視覚的な下位システムの容量と空間的イメージ操作能力, イメージ鮮明性の関連を検討するために, VWMST の PATTEN TASK の A 条件, B 条件両課題の得点と MRT, VVIQ の得点間の単純相関係数の分析を行った(Table 1)。

その結果, A 条件の得点は MRT の得点との間に正の相関が, VVIQ の得点との間に負の相関がそれぞれ認められた($r=.359, p<.05$; $r=.329, p<.05$)。しかしながら B 条件の得点は, VVIQ の得点との負の有意傾向しか認められなかった($r=-.258, p<.10$)。

A 条件の得点と MRT の得点の間に相関が認められた結果からは, 空間的なイメージ操作課題の遂行能力の個人差には空間的な下位システムだけでなく, 視覚的な下位システムの容量の個人差も関連することが示唆される。さらに A 条件の得点

が VVIQ 得点と相関が認められた結果からは、視覚イメージの鮮明性の個人差に視覚的な下位システムの容量の個人差が関連することが示唆される。

一方、B 条件の得点とイメージテストの得点の間には、ほとんど相関が認められなかった。しかしながら、実験後の被験者の内省報告からは、ほとんどの被験者から B 条件での無意味絵の刺激の方が A 条件のテクスチャーの刺激より名前を付けて憶えやすかったという報告を受けた。したがって、B 条件における刺激の言語化のしやすさという特徴が、B 条件と VVIQ との関連を弱くした要因として推測される。

尚、VWMST の課題間では PATTERN TASK の A 条件の得点と B 条件の得点の間に正の相関が認められたが ($r=.609$, $p<.01$), SPACE TASK の得点と A 条件、B 条件の得点の間には相関が認められなかった。

さらに本研究では、単純相関係数の分析により相関が認められた SPACE TASK, PATTERN TASK の A 条件, MRT, VVIQ の 4 つの変数を用いて、変数間にて他の変数の影響を排除した偏相関係数の分析も同時に行った (Table 2)⁷。

その結果、SPACE TASK の得点は、MRT の得点との間に正の相関が認められ ($r=.424$, $p<.01$), PATTERN TASK の A 条件の得点は、MRT の得点との間に正の相関が、VVIQ の得点との間に負の相関が認められた ($r=.323$, $p<.05$; $r=-.310$, $p<.05$)。しかしながら、SPACE TASK の得点と A 条件の得点の間や、MRT の得点と VVIQ の得点の間には相関が認められなかった。

⁷ 4 つの変数間の偏相関係数の分析において、SPACE TASK の得点と PATTERN TASK A 条件の得点間の分析では、MRT と VVIQ の得点を、SPACE TASK の得点と MRT の得点間の分析では、A 条件の得点と VVIQ の得点を制御変数として設定した。また、SPACE TASK の得点と VVIQ の得点間の分析では、A 条件の得点と VVIQ の得点を制御変数として設定した。

一方、PATTERN TASK A 条件の得点と MRT の得点間の分析では、SPACE TASK の得点と VVIQ の得点を、A 条件の得点と VVIQ の得点間の分析では、SPACE TASK の得点と MRT の得点を制御変数として設定した。また、MRT の得点と VVIQ の得点間の分析では SPACE TASK の得点と PATTERN TASK A 条件の得点を制御変数として設定した。

Table 2. Partial correlation between VWMST, MRT and VVIQ (n=43)

	SPACE TASK	PATTERN TASK A 条件	MRT	VVIQ
SPACE TASK	—	.015	.424**	-.185
PATTERN TASK A 条件		—	.323*	-.310*
MRT			—	-.181
VVIQ				—

* $p<.05$ ** $p<.01$

注) 偏相関係数の分析は全て Pearson の累積偏相関係数を用いて分析を行った

これらの結果は、単純相関係数の分析から得られた相関関係とほぼ同様の結果であり、4 つの変数間に大きな関係性の変化は認められなかった。したがって、偏相関係数の分析の結果からも、SPACE TASK と MRT の関連や、A 条件と MRT, VVIQ の関連が示唆される。

視空間作業記憶容量と空間的イメージ操作能力、イメージ鮮明性間の因果関係の検討 最後に視空間作業記憶に仮定される下位システムの容量と空間的イメージ操作能力、イメージ鮮明性の因果関係を検討するために、AMOS を用いた共分散構造分析を行い、分析によって得られた適合指数や標準偏回帰係数などの指標から Figure2 のモデルを採択した⁸。得られたモデルの適合指数は、 $\chi^2=2.057$ ($p>.10$), GFI=.970, GFI.900, RMSEA=.000, AIC=16.650 であった。

⁸ 一般的に、共分散構造分析によるモデルの分析には 100 以上のデータが必要とされる (豊田, 1998)。したがって、本研究における VWMST の得点と MRT, VVIQ についての因果モデルの構築は、試行的に行ったものであり、得られたモデルや数値に関してはあくまでも補足的な位置づけとしたい。しかしながら、分析から得られたモデルの適合指数の高さは、服部 (2002) の基準を満たすものであり、得られたモデルや結果は、今後の視覚的作業記憶と視覚的イメージの関連に有用な示唆を与える可能性があると考え、本研究では論文内に分析の内容を掲載することにした。

また、因果モデルの分析では、採用したモデルの他にも、いくつかの仮説モデルを構築し同様の分析を行った。しかしながら、他の仮説モデルにおける χ^2 などの適合指数は、採用した因果モデルよりも相対的に低い値であった。

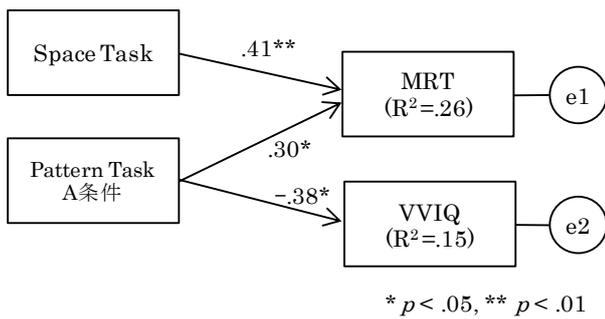


Figure 2. Causal model of VWMST, MRT and VVIQ(n=43)

共分散構造分析の適合指数における GFI, AGFI は、観測変数の数が 30 以下時には 0.9 以上が適合の目安となり、RMSEA は、0.05 以下の場合データへの適合が良いモデルとされている(服部, 2002)。得られたモデルの適合指数を見ると、GFI, AGFI の値は 0.9 を超え、RMSEA の値は 0.05 を十分に下回る値となった。また変数間の標準偏回帰係数はすべて 5%水準で有意であった。これらの結果から、想定したモデルはデータの共分散構造をよく説明したものであると判断した。

Figure 2 のモデルの内容を詳しく見ると、MRT は SPACE TASK, PATTERN TASK のパターン A 条件両課題との関係性が示されている。その一方で VVIQ は、PATTERN TASK のパターン A 条件のみと関係性が示されている。これらの関係性を考慮すると、空間的イメージ操作課題の遂行能力の個人差には視空間作業記憶の空間的下位システムと視覚的下位システム両者の容量の個人差が関与し、視覚イメージの鮮明性の個人差には視覚的下位システム容量の個人差が関与することが考えられる。

考 察

本研究では、視空間作業記憶内に仮定される空間的下位システムと視覚的下位システム両者の資源容量の個人差と空間的イメージ操作能力、イメージ鮮明性の個人差の関連を明らかにするために、

視空間作業記憶容量を測定する VWMST 内の 3 つの課題(SPACE TASK, PATTERN TASK A 条件, PATTERN TASK B 条件)得点と MRT, VVIQ 得点の関連について検討を行った。

その結果、分析によって得られた相関関係や因果モデルから、SPACE TASK, PATTERN TASK の A 条件が MRT の得点と関連することが明らかとなった。このことから、空間的イメージ操作課題の遂行能力の個人差に、視空間作業記憶の空間的下位システムと視覚的下位システム両システムの資源容量の個人差が関与することが考えられる。たとえば Hegarty & Waller(2006)は、高い空間操作能力を持つ個人が、低い空間操作能力を持つ個人よりも、空間的情報の処理に用いる心的資源をより多く持つことを指摘している。また Just & Carpenter(1992)は、空間的な描写の個人差が、空間的な情報を処理するために必要な心的資源の差によって生じることを指摘している。今回の MRT と SPACE TASK 間に認められた関連は、これら空間的イメージ操作能力の個人差に心的資源の個人差が関わる知見を支持する結果と考えられる。

またメンタルローテーションは、操作する図形に関する表象の一時的保持や、図形の同定判断を必要とする課題と考えられる。したがって、表象の保持に関係する視覚的な下位システムも課題の遂行に関わると推測される。荻阪(2000)は fMRI による研究結果から、メンタルローテーションの遂行に脳の背側ストリームの部位と腹側ストリームの部位が関わり、空間的な処理と視覚的な保持の協調によって課題が遂行されることを指摘している。今回得られた MRT と A 条件間の関連は、実験的な手法からメンタルローテーションが空間的な処理と視覚的な保持の相互の関わりにより行われることを示した結果と言えるであろう。

さて本研究で得られた結果からは、空間的なイメージ操作を要求する課題の遂行能力の差に、空間的下位システムと視覚的下位システム両者の資源容量の個人差が関与することが推測されるのだが、メンタルローテーションなどの心的イメージ

操作を要求する課題については、空間的なイメージ操作の中でも方向定位という部分的なイメージ操作能力しか測定していないこと、客観的な空間的イメージ操作課題で測定される“イメージの統御性”と質問紙法にて測定される“イメージの統御性”が異なる側面を測定していることなどが指摘されている(島山, 2001)。したがって個人の空間的イメージ操作能力の評価については、メンタルローテーションだけでなく、他の空間的イメージ操作課題を用いた検討から総合的に判断する必要がある。しかし本研究で得られた結果から、少なくともメンタルローテーションによって測定される方向定位の空間的イメージ操作能力の個人差に、視空間作業記憶の空間的下位システムと視覚的下位システム両者の資源容量の個人差が関わることが推測されるであろう。

また本研究ではさらに、PATTERN TASK の A 条件の得点と VVIQ の得点の間に関連が認められた。このことからイメージの鮮明性の個人差に、視覚的な下位システムの資源容量の個人差が関わることが示唆される。たとえば Reisberg & Heuer(2006)は、イメージ鮮明性と色の記憶の関連を示した研究(Reisberg, Culver, Heuer, & Fish-man, 1986)や、イメージ鮮明性と顔の記憶の関連を示した研究(Reisberg & Leak, 1987)の結果などを例に挙げながら、イメージ鮮明性が色や顔などの視覚情報の記憶や判断能力と関連することを指摘している。A 条件の課題の遂行には模様(テクスチャー)に関する情報の一時的な保持が要求される。したがって VVIQ と PATTERN TASK の A 条件間に認められた関連は、Reisberg らの一連の研究から得られた、イメージの鮮明性と視覚情報の記憶能力に関するという知見を支持する結果と言えるであろう。

また菱谷(1993)は、イメージの鮮明性に生じる個人差について Kosslyn(1980)のモデルから考察を加え、長期記憶からモデル内の視覚バッファへ転送する情報路の容量を制限するメカニズムとして“サプレッサー”というシステムを提案している。菱谷の考えるサプレッサーが視空間作業記憶

の概念とどこまで一致するものか十分に検討する必要はあるが、本研究で得られた結果や菱谷(1993)の知見から、イメージの鮮明性の個人差に視覚的な情報の容量を制限するシステムの個人差が影響を及ぼすことが推測される。

さて本研究で得られた結果や知見の中でも特に重要なのは、これまであまり検討が行われてこなかった作業記憶容量の個人差と視覚的イメージ処理の個人差の関連について検討を行い、視覚的作業記憶内に仮定される空間的下位システムと視覚的下位システム両者の資源容量の個人差が、視覚イメージの鮮明性や統御性のような視覚的イメージ処理の個人差に特異的に影響を及ぼす可能性を示したことにあろう。このことは作業記憶の多要素モデルに関する構成概念の妥当性を向上させると共に、イメージ研究の観点からは、イメージ処理過程の解明に有用な示唆を与えるものと考えられる。

しかしながら本研究では、作業記憶の中でも特に視空間作業記憶に検討の対象を絞る、視覚的イメージ処理との関連について検討を行ったことから、作業記憶内に仮定される他の下位システムと視覚的イメージ処理の関連については明らかではない。

たとえば、視覚的イメージの生成や操作などの処理に中央実行系の制御機能が密接に関わることが指摘されている(Bruyer & Scailquin, 1998 ; Logie, 1995)。したがって中央実行系の個人差が、視覚的イメージ処理の個人差にどのように関連するか詳しく検討を行う必要があると考えられる。

また最近、Baddeley のモデル(Baddeley, 1986)の新たな展開として、エピソードバッファ(Episodic Buffer)という新しい下位システムが追加された(Baddeley, 2000)。エピソードバッファは、作業記憶内の異なる下位システムで処理された情報の統合や、操作に関わるシステムとして位置づけられている(Baddeley, 2000)。このことからこのシステムは、言語的作業記憶と視覚的作業記憶の両システム間でのイメージの統合や、イメージの操作のようなイメージ処理に関わることが

推測される。しかしエピソードバッファの概念は、提案されて間もないために、システムの妥当性を示す知見が少ない(三宅・齋藤, 2001)。したがって、今後の検討ではシステム自体の概念的妥当性を検証しつつ、エピソードバッファの個人差が視覚的イメージ処理の個人差にどのように関連するか検討を行う必要があると考えられる。

今後はこれら作業記憶の他の下位システムとイメージ処理の関連についても検討を行ってきたい。

引用文献

- Baddeley, A. D. 1986 Working memory. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. 2000 The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Science*, 4, 417-423.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. 1974 Working memory. In G. H. Bower(Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol.8. New York: Academic Press. Pp.47-90.
- Bennett, G. K., Seashore, M. G., & Wesman, A. G. 1974 *Differential aptitude tests*. New York: Psychological Corporation.
- Bruyer, R., & Scailquin, J. C. 1998 The visuospatial sketchpad for mental images: Testing the multicomponent model of working memory. *Acta Psychologica*, 98, 17-36.
- Chara, P. J., & Hamm, D. A. 1989 An enquiry into the constructive validity of the Vividness of Visual Imagery Questionnaire. *Perceptual and Motor Skills*, 69, 127-136.
- Desimone, R., & Duncan, J. 1995 Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- 遠藤信貴・齋木潤・中尾陽子・齋藤洋典 2003 無意味輪郭図形の階層的特徴記述に基づく知覚判断特性の分析 心理学研究, 74, 346-353.
- Hanggi, D. 1989 Differential aspects of visual short- and long-term memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1, 275-284.
- 畠山孝男 2001 イメージの個人差をめぐる諸問題 菱谷晋介(編著) イメージの世界—イメージ研究の最前線— 第14章 ナカニシヤ出版 Pp.267-293
- 服部 環 2002 仮説をモデル化し検討する: 構造方程式モデリング 渡部 洋(編著) 心理統計の技法—シリーズ・心理学の技法— 第9章 福村出版 Pp.151-166.
- Hegarty, M., & Waller, D. A., 2006 Individual Differences in Spatial Abilities. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. New York: Cambridge University Press. Pp.121-169.
- Heuer, F., Fischman, D., & Reisberg, D. 1986 Why dose vivid imagery hurt colour memory? *Canadian Journal of Psychology*, 40, 161-175.
- 菱谷晋介 1993 イメージの個人差について: 何が鮮明度を決定するのか 認知科学の展望, 6, 81-117.
- 菱谷晋介 2005 イメージと認知・感情 菱谷晋介・田山忠行(編著) 心を測る 第8章 八千代出版 Pp.125-142
- 船橋新太郎 2000 ワーキングメモリの神経機構と前頭連合野の役割 荻阪直行(編著) 脳とワーキングメモリ 第2章 京都大学学術出版会 Pp.21-49
- Just, M. & Carpenter, P. 1992 A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, 99, 122-149
- 川原正広 2004 視空間ワーキングメモリスパンテスト作成の試み 日本認知心理学会大会第2回大会発表論文集, 66.

- Kosslyn, S. M. 1980 *Image and mind*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kosslyn, S. M. 1994 *Image and brain: The resolution of the imagery debate*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Logie, R. H. 1995 Visuo-spatial working memory. Hove: Erlbaum.
- Logie, R. H., & Marchetti, C. 1991 Visuo-spatial working memory: Visual, spatial, or central executive? In R. H. Logie & M. Denis(Eds.), *Mental Images in Human Cognition*. Amsterdam: North-Holland. Pp.105-115.
- Marks, D. F. 1973 Visual imagery difference in the recall of pictures. *British Journal of Psychology*, 64, 17-24.
- 三宅 晶・齋藤 智 2001 作動記憶研究の現状と展開 心理学研究, 72, 336-350.
- 荻阪直行 2000 視覚的ワーキングメモリとその高次構造 荻阪直行(編著) 脳とワーキングメモリ 第2章 京都大学学術出版会 Pp.117-137
- Paivio, A. 1971 *Imagery and verbal process*. New York: Holt, Rinehart, & Winston.
- Pearson, D. G. 2001 Imagery and the visuo-spatial sketchpad. J. Andrade(Eds.), *Working Memory in Perspective*. New York: Psychology Press Ltd. Pp.33-59.
- Quinn, J. G. 1988 Interference effects in the visuo-spatial sketchpad. In M. Denis, J. Engelkamp, & J. T. E. Richardson(Eds.), *Cognitive and neuropsychological approaches to mental imagery*. Dordrecht: Martinus Nijhoff. Pp.181-189.
- Quinn, J. G. 1991 Towards a clarification of spatial processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 47, 465-480.
- Reisberg, D., Culver, C., Heuer, F., & Fischman, D. 1986 Visual memory: When imagery vividness makes a difference. *Journal of Mental Imagery*, 10, 51-74.
- Reisberg, D., & Heuer, F. 2006 Visuospatial Images. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking*. New York: Cambridge University Press. Pp.35-80.
- Reisberg, D., & Leak, S. 1987 Visual imagery and memory for appearance: Does Clark Gable or George C. Scott have bushier eyebrows? *Canadian Journal of Psychology*, 41, 521-526.
- Shah, P., & Miyake, A. 1996 The separability of working memory resource for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 4-27.
- Shepard, R. N., & Metzler, L. A. 1971 Mental rotation of three-dimensional object. *Science*, 171, 701-703.
- 豊田秀樹 1998 共分散構造分析 入門編 構造方程式モデリング 朝倉書店.
- Tresch, M. C., Sinnamon, H. M., & Seamon, J. G. 1993 Double dissociation of spatial and object visual memory: evidence from selective interference in intact human subject. *Neuropsychologia*, 31, 211-219.
- Vandenberg, S. G. 1971 A test of three-dimensional spatial visualization. University of Colorado.
- Woodman, G. F., Vogel, E. K., & Luck, S. J. 2001 Visual search remains efficient when visual working memory is full. *Psychological Science*, 12, 219-22.

(2007.3.5 受稿, 2008.5.13 受理)

Relationship between the Capacity of Visuo-Spatial Working Memory and Visual Imagery Processing

MASAHIRO KAWAHARA (GRADUATE SCHOOL OF INFORMATION SCIENCE, TOHOKU UNIVERSITY) AND KAZUO MATSUOKA (FACULTY OF HUMANITIES & SOCIAL SCIENCES, IWATE UNIVERSITY)

THE JAPANESE JOURNAL OF MENTAL IMAGERY, 2008, 6, 45–56

The present study examined the relationship between individual differences in aspects of visual imagery, such as vividness of visual imagery and visual image controllability, and the capacity of the spatial and visual systems that comprise visuo-spatial working memory with used to Visual Working Memory Span Test (VWMST: SPACE TASK, PATTERN TASK condition A, PATTERN TASK condition B) and Mental Rotation Test (MRT), VVIQ.

The results of correlation analysis and covariance structure analysis demonstrated a correlation between the SPACE TASK score and the MRT score. Furthermore, the PATTERN TASK condition A score was correlated with the MRT and VVIQ scores. However, the PATTERN TASK condition B score was not correlated with the MRT or VVIQ scores. The present results revealed that individual differences in the capacity of both the spatial and visual systems that comprise visuo-spatial working memory are correlated with individual difference in visual image controllability. These findings also suggest that individual differences in the capacity of the visual system are correlated with individual differences in the vividness of visual imagery.