

高次認知能力と作動記憶容量の個人差に関する検討

一言語性および視空間性認知課題を用いて¹⁾

前 原 由 喜 夫

例えば、電話をかけるときは、電話番号を記憶し、記憶した電話番号の数字列をそのまま想起して電話機の番号ボタンを押す必要がある。このように、直後にそのまま再生して使用する目的のためだけに情報を一時的に保持しておく記憶システムのことを短期記憶 (short-term memory) という。一方、店に電話をかけて商品を注文する間、注文した金額が合計でいくらになったかということを暗算してゆくときは、現在の合計額を記憶しておき、次の注文をして、その金額を加算して得られた新たな合計額を記憶するという操作が要求される。つまり、次の注文を行うなどの情報処理と並行しながら、ある時点での合計額を後の暗算に使用するために保持しなければならない。このように、ある課題要求の遂行と並行して、後の認知活動に使用するための情報を一時的に保持しておく記憶システムを作動記憶 (working memory) という。

作動記憶は高度で複雑な認知活動の基礎をなす、記憶の機能的側面に焦点を当てた概念だと言える。Baddeley & Hitch (1974) の、記憶過程はより一般的な認知メカニズムの文脈の中で扱われるべきだという提唱以降、さまざまな情報処理過程に対する記憶の役割を調べるために、作動記憶スパンテストを用いた数多くの研究が蓄積されてきた (レビューとして, Jarrold & Towse, 2006)。情報の保持のみが要求される短期記憶スパンテストとは異なり、作動記憶スパンテストは情報の保持と処理とを同時的に求められる。例えば、Daneman & Carpenter (1980) の開発したリーディングスパンテストでは、実験参加者は文を音読しながら文末の単語を覚えるという操作を複数の文について繰り返し、最後に単語を再生することが要求される。計数スパンテスト (Case, Kurland, & Goldberg, 1982) や演算スパンテスト (Turner & Engle, 1989) ではそれぞれ、ターゲットの数え上げと並行してその個数を保持したり、計算をしながらその解答を保持したりすることが求められる。また、空間スパンテスト (Shah & Miyake, 1996) では、メンタル・ローテーション課題を処理しながら回転文字の方向を次々と記憶してゆかなければならない。このように多種多様な作動記憶スパンテストが開発されてきた背景にある重要な動機のひとつは、作動記憶容量すなわち作動記憶スパンテストにおける記憶成績が、高次認知課題成績に対して (数唱範囲課題などによって測られる短期記憶容量よりも) 高い予測力を示す点にある。さらに興味深いことに、その予測力は作動記憶スパンテストに含まれる処理速度の影響を取り除いてもなくなる (Engle, Cantor, & Carullo, 1992)。文章読解や言語理解 (Daneman & Carpenter, 1980; Just & Carpenter, 1992)、空間的思考 (Shah & Miyake, 1996)、読みや算数などの学業成績 (Gathercole, Pickering, Knight, & Stegmann, 2004; Hitch, Towse, & Hutton, 2001)、推論 (Capon, Handley, & Dennis, 2003; Kyllonen & Christal, 1990)、そして知能 (Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Kane,

Hambrick, Tuholski, Wilhelm, Payne, & Engle, 2004) などのさまざまな高次認知能力が作動記憶容量の個人差を大きく反映し、作動記憶容量と高い正の相関を示すことが明らかにされてきた。

しかしながら、作動記憶の保持成分は単一の領域一般的性質を備えておらず、保持する表象の性質が言語性（音韻的）表象と視空間性表象のように異なれば、それぞれに異なる領域固有的な作動記憶容量が想定される。Shah & Miyake (1996) は実験 2 において、空間性記憶項目（矢印の方向）あるいは言語性記憶項目（単語）のそれぞれに、処理課題として空間性のメンタル・ローテーション課題および言語性の単文正誤判断課題を組み合わせた作動記憶スパンテストを実施し、それらのスパン成績（記憶成績）と空間性および言語性認知課題成績との相関を調べた。その結果、空間・空間スパン成績は空間性認知課題成績とのみ有意な相関を示し、言語・言語スパン成績は言語性認知課題成績とのみ有意な相関を示した²。したがって、作動記憶容量に関して空間性のものと言語性のものとは性質的に分離可能であり、各作動記憶容量はそれぞれに対応する表象の操作が要求される高次認知課題の成績を領域固有的に予測することが実証されたと言える。さらに、Shah & Miyake (1996) は空間性短期記憶容量を統制したときでも空間・空間スパン成績と空間性認知課題は有意な相関を維持し、言語性短期記憶容量を統制したときでも言語・言語スパン成績と言語性認知課題は有意な相関を維持することを示した。これは、単純な表象の保持ではなく処理を同時に求められたときの保持成分が、高次認知課題の遂行において特に重要な役割を担っていることを示唆する結果である。しかし、Shah & Miyake (1996) は作動記憶スパン成績と高次認知課題成績との相関を調べる際、処理効率（処理速度や処理の正確さ）を統制しておらず、この点について検討の余地が残されたと言えよう。

Bayliss, Jarrold, Gunn, & Baddeley (2003) は実験 2 で、大学生を対象として言語性および視空間性処理課題に言語性あるいは視空間性記憶項目を組み合わせた作動記憶スパンテスト、言語性および視空間性の短期記憶スパンテストと処理効率テスト、さらに高次認知能力を測るテストとして読み能力テストと数的処理能力テスト、そして流動性知能検査を実施した³。その結果、高次認知能力は作動記憶スパン成績との間に有意な相関を示したが、短期記憶スパン成績や処理効率（処理速度）との間には有意な相関がほとんど見られなかった。そして、作動記憶スパン、短期記憶スパン、処理効率を変数として因子分析した結果「言語性記憶容量」、「視空間性記憶容量」、「領域一般的処理効率」の 3 因子が抽出され、記憶容量因子は高次認知課題との有意な関連が見られたが、処理効率因子は高次認知課題と関連がなかった。さらに、作動記憶スパンを予測変数とし、短期記憶スパンと処理効率を説明変数とした重回帰分析では、処理効率は作動記憶スパン成績に対する有意な説明変数とはならなかった。以上の結果から、処理効率は作動記憶容量や高次認知能力にほとんど影響しないということが示唆された。しかしながら、Bayliss et al. (2003) は視空間性認知課題を実施しておらず、Shah & Miyake (1996) の示した高次認知課題に対する作動記憶の領域固有的寄与の検証・追認はなされなかった。

以上で見てきたように、Shah & Miyake (1996) および Bayliss et al. (2003) は、言語性・視空間性作動記憶を同時に扱っているものの、処理効率を統制した後でも作動記憶スパンの高次認知能力に対する言語性・視空間性表象ごとの領域固有的な予測力が維持されるか否かということとは追究していないのである。そこで、本研究では、Shah & Miyake (1996) や Bayliss et al.

(2003)を踏襲し、処理課題と記銘項目に言語性材料あるいは視空間性材料を用いた作動記憶スパンテストを作成して、言語性および視空間性の高次認知課題とともに実施し、(1)言語性作動記憶容量は言語性認知能力と、視空間性作動記憶容量は視空間性認知能力と、それぞれ領域選択的に有意な相関を示すか否か、そして(2)作動記憶スパンテストにおける処理の速さや正確さといった処理効率を統制したときでも、作動記憶スパン成績の個人差は高次認知課題の成績の個人差を有意に予測する説明変数となりうるか否かを検討する。

方法

実験参加者 大学生・大学院生62名。30名(男14名,女16名;平均年齢21.0歳)を言語処理スパンテスト群に,32名(男13名,女19名;平均年齢20.3歳)を視空間処理スパンテスト群にそれぞれ割り当てた⁴。

作動記憶スパンテスト 言語処理スパンテストにおける言語処理課題として単文正誤判断課題を用いた。単文正誤判断課題では、ひとつの主語とひとつの述語からなる単文、例えば「リングは果物だ」「ソファは動物だ」といった文の内容が正しいか誤っているかをできるだけ速くかつ正確に判断することが求められた。視空間処理スパンテストにおける視空間処理課題には図形異同判断課題を独自に開発して用いた。図形異同判断課題では、画面の左右に同時に呈示された2つの無意味図形が同じであるか異なるかをできるだけ速くかつ正確に判断することが求められた。2つの無意味図形が異なる図形であるときは、一方の図形の一箇所だけを変形した、形状的に類似した図形が用いられた。また、一方の図形は他方の図形から時計回り方向に0度、90度、180度、または270度回転されていた。言語性記銘項目は、千原・辻村(1985)の日本語清音3音節単語熟知度表より、熟知度3.50-4.50の名詞を56個選出して用いた。視空間性記銘項目は、4×4のマトリックスのひとつに黒丸の描かれたドット・イン・マトリックス図形16個を作成して用い、参加者はその黒丸の位置を覚えるよう指示された。以上の処理課題および記銘項目を組み合わせ、言語-言語スパンテスト、言語-空間スパンテスト、空間-言語スパンテスト、および空間-空間スパンテストを作成した。言語処理スパンテスト群の参加者には、言語-言語スパンテストと言語-空間スパンテストを実施した。一方、視空間処理スパンテスト群の参加者は、空間-言語スパンテストと空間-空間スパンテストを実行した。

処理課題の後にひとつの記銘項目が現れるユニットを基本単位とし、1リスト(1試行)中のユニットの数は2,3,4または5とした。よって、1リスト中の記銘項目の数は2,3,4または5であった。記銘項目の前の処理課題の数は1つまたは3つとし、3つの処理課題が連続するユニットがリストの最初または最後に位置する2種類のリストを作成したが、本研究には無関係な実験操作であるため、分析対象とはしなかった。いずれの作動記憶スパンテストも、各記銘項目数のリストを4つずつ作成したため、計16リストで構成された。

刺激はすべて15インチの画面の中央にSuperLab(Ver. 2.0)によって呈示された。参加者は単文正誤判断課題にはパソコンのキーボードの「正」または「誤」と書かれたキーを押すことによって、図形異同判断課題には「同」または「異」と書かれたキーを押すことによって解答し、解答の正誤と反応時間が記録された。処理課題に解答すると、50ミリ秒の間隔をあけて、次の処理課題または記銘項目が呈示された。記銘項目はすべて900ミリ秒間呈示された。言語性記銘項

目（単語）はすべてカタカナ表記で呈示された。また、空間性記憶項目（ドット・イン・マトリックス）は1リスト中、同一の位置にドットが複数回呈示されることはなかった。1リスト中のすべての記憶項目が呈示されたあと、「解答してください」というメッセージが画面に現れるので、参加者は単語条件では単語を呈示された順に口頭で報告し、それがモニターの上に置かれたボイス・レコーダーに録音された。一方、マトリックス条件では1ページに①から⑤の番号のついた5つの4×4マトリックスが印刷された解答用紙の冊子が用意され、ドットの位置を呈示された順に、対応する番号のマトリックス内に○を記入してゆくかたちで解答した。解答用紙は1試行につき1ページを使用した。参加者は解答が終わったら、いずれかの解答キーを押して次の試行に進んだ。試行の実施順序は、記憶項目の数に関係なくランダムであった。各作動記憶スパンテストの模式図をFigure 1に示す。

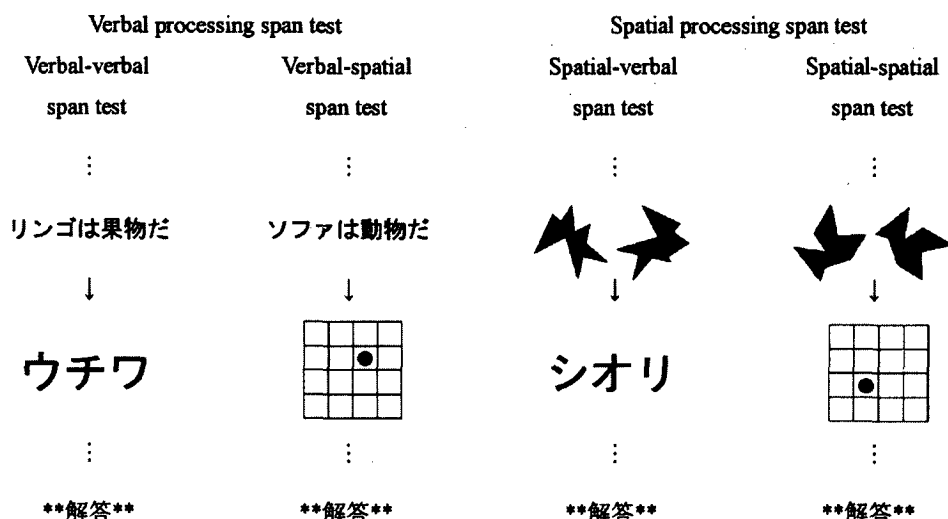


Figure 1. Schematic illustrations of the working memory span tests. A memory item (word or dot-in-matrix) was presented for 900ms. An inter-stimulus interval was 50ms.

高次認知課題 京大NX15知能検査（学阪・梅本，1984）の下位検査のうち，第2検査（数字盤回転），第5検査（単語補充），第7検査（折り紙展開），第10検査（文整序）を使用した。京大NX15知能検査は筆答式検査である。第5検査と第10検査が言語性認知課題で，第2検査と第7検査が視空間性認知課題である。第2検査は，数字が格子状に並べられた数字盤を問題の指示に従って回転させて，文字が格子状に並べられた文字盤の上に重ね合わせたとき，どの数字とどの文字とが重なるかを答える課題であり，全部で12問，制限時間は3分である。第5検査は，文の中にある2つの空欄に語群の中から最も適切な語句を選択して補充する課題で，全12問，制限時間は1分30秒である。第7検査は，折り紙を折ってそこにさまざまな形の穴をあけたとき展開図の模様はどれになるかを答える課題で，全12問に対し制限時間は1分である。そして，第10検査は，でたらめに並べられた語句を並べ換えて意味の通る短文を作り，その短文の示す問いに答える課題であり，全部で12問，制限時間は2分である。いずれの下位検査も解答は多肢選択式で

あった。各下位検査の例題をFigure 2に示す。

A. 第2検査 (数字盤回転)

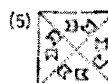
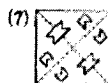
にの上に1を, たの上に4を重ねると, わの上にくる数字は何か?

B. 第5検査 (単語補充)

太郎さん 次郎さんは, ともだちです。

(1) から (6) と (3) 兄弟 (9) 仲のよい (7) また (2) となり

C. 第7検査 (折り紙展開)



D. 第10検査 (文整序)

きのうの ですが あすの おとついは まえ あさつては

(9)おなじ (6)むかし (1)あと (3)よる (4)まえ

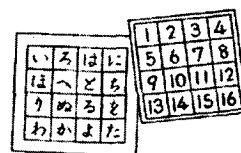


Figure 2. An example from each of four subtests of *Kyodai NX 15 Intelligence Scale*.

全体の手順 言語処理スパンテスト群のすべての参加者は、初めに、単文正誤判断課題の反応に慣れるための練習を16試行おこなった。その後、半数の参加者は言語 - 言語スパンテストを先に実施し、もう半数の参加者は言語 - 空間スパンテストを先に実施した。これは単文正誤判断課題に対する練習効果を2つのスパンテスト間で相殺するためである。そして、2つのスパンテストが終わった後、すべての参加者が、京大NX15知能検査の下位検査（高次認知課題）に、第2検査、第5検査、第7検査、第10検査の順で取り組んだ。視空間処理スパンテスト群の参加者は、まず初めに図形異同判断課題の反応に慣れるため、練習試行を16試行おこなった後、言語処理スパンテスト群と同じ理由により、半数の参加者は空間 - 言語スパンテストを先に、もう半数の参加者は空間 - 空間スパンテストに先に取り組んだ。2つのスパンテスト終了後、すべての参加者が言語処理スパンテスト群と同じ順序で京大NX15知能検査の下位検査に臨んだ。

採点方法 作動記憶スパン成績の算出方法は大きく分けて4種類あるが、今回は全試行を通じて再生された正再生数の合計をスパン得点とする方法を採用した。この採点法は点数を1点刻みの連続した値で得られるため、相関分析に最適である (Friedman & Miyake, 2005)。正再生数のスコアリングはShah & Miyake (1996) に従い、言語性記銘項目は自由再生数を、視空間性記銘項目は系列再生数をそれぞれ正再生数とした⁵。つまり、言語 - 言語スパンテストおよび空間 - 言語スパンテストにおける単語の正再生数は、再生順序に関係なく正しく再生できた単語の数の合計数とした。したがって、各スパンテストの得点の範囲は、すべて0から56 (= $2 \times 4 + 3 \times 4 + 4 \times 4 + 5 \times 4$) であった。一方、言語 - 空間スパンテストおよび空間 - 空間スパンテストにおけるドット・イン・マトリックスの正再生数は、正しく系列再生できたドット位置の数の合計数とした。よって、各スパンテストの各リストの得点の範囲は、単語と同様にすべて0から56であった。

作動記憶スパンテストの処理効率として、処理速度および処理の正確さを指標として用いることにした。処理速度は、すべての記憶項目を正しく再生できたリスト内の処理課題に対する反応

時間の平均値とし、処理の正確さは全処理課題に対する正解した処理課題の正答率を用いた。

京大NX15知能検査の下位検査は、採点手引きの正答表にしたがって、1問1点で採点した。ただし、第5検査は2つの空欄の両方に正解したときに1点を与えた。

相関分析を行う際に、京大NX検査の下位検査は、第5検査と第10検査の得点をそれぞれz得点化して加算したものを言語性認知課題成績として、そして第2検査と第7検査の得点をそれぞれz得点化して加算したものを視空間性認知課題成績として使用した。

結果⁶

言語処理スパンテスト群 ($N = 30$) の各指標間の相関係数をTable 1に、視空間処理スパンテスト群 ($N = 32$) の各指標間の相関係数をTable 2にそれぞれまとめた。

Table 1. Correlation coefficients for measures from the verbal-processing span group

	1	2	3	4	5	6	7	8
Verbal-verbal span test								
1. Span score	—							
2. Speed	-0.20	—						
3. Accuracy	0.67 **	0.05	—					
Verbal-spatial span test								
4. Span score	0.43 *	-0.02	0.37 *	—				
5. Speed	0.03	0.50 **	0.17	-0.28	—			
6. Accuracy	0.28	0.13	0.58 **	0.32	0.10	—		
Cognitive task								
7. Verbal	0.64 **	-0.03	0.41 *	0.39 *	0.07	0.15	—	
8. Spatial	0.12	-0.38 *	0.08	0.44 *	-0.29	0.14	0.04	—

* $r(28), p < 0.05$. ** $r(28), p < 0.01$

Table 2. Correlation coefficients for measures from the spatial-processing span group

	1	2	3	4	5	6	7	8
Spatial-verbal span test								
1. Span score	—							
2. Speed	0.17	—						
3. Accuracy	0.32	0.70 **	—					
Spatial-spatial span test								
4. Span score	0.20	0.14	0.21	—				
5. Speed	0.22	0.85 **	0.75 **	0.21	—			
6. Accuracy	0.00	0.58 **	0.73 **	0.00	0.58 **	—		
Cognitive task								
7. Verbal	-0.10	-0.21	-0.23	-0.10	-0.19	-0.04	—	
8. Spatial	0.23	-0.06	0.11	0.47 **	0.04	-0.12	0.03	—

* $r(30), p < 0.05$. ** $r(30), p < 0.01$

まず、スパン得点と高次認知課題成績との相関関係について検討してゆく。Table 1より、言語 - 言語スパン得点は言語性認知課題と有意な正の相関を示した ($r(28) = 0.64, p < 0.01$) が、視空間性認知課題との相関は非有意 ($r(28) = 0.12, n.s.$) であった。これは、言語性作動記憶の高次認知に対する領域固有的寄与を示唆する結果だと考えられる。ところが、言語 - 空間スパン得点は視空間性認知課題だけではなく、言語性認知課題とも有意な正の相関を示した (そ

れぞれ, $r(28) = 0.44, p < 0.05$ と $r(28) = 0.39, p < 0.05$)。Table 2より, 空間 - 空間スパン得点は視空間性認知課題と有意な正の相関を示した ($r(30) = 0.47, p < 0.01$) が, 言語性認知課題との相関は非有意であった ($r(30) = -0.10, n.s.$)。これは, 視空間性作動記憶が高次認知課題に対して領域固有的に関与していることを示す証拠だと考えられる。一方, 空間 - 言語スパン得点は言語性認知課題とも, 視空間性認知課題とも有意な相関を示さなかった (それぞれ $r(30) = -0.10, n.s.$ と $r(30) = 0.23, n.s.$)。

以上より, 処理と保持とが同種表象を扱う作動記憶スパンテスト (言語 - 言語スパンテスト・空間 - 空間スパンテスト) のスパン得点は一貫して, 同じ表象モダリティの複雑な高次認知課題の成績とのみ, 具体的には言語 - 言語スパン得点なら言語性認知課題とだけ, 空間 - 空間スパン得点なら視空間性認知課題とだけといったように, 領域固有的に有意な正の相関を示した。一方で, 異種表象の処理と保持とを含む作動記憶スパンテスト (言語 - 空間スパンテスト・空間 - 言語スパンテスト) のスパン得点は, 高次認知課題の成績に対して, 同種表象の作動記憶スパン得点のような領域固有的な相関の傾向を示さないことがわかった。

続いて, 処理効率 (処理速度と正答率) の個人差を統制したときでも, スパン得点は高次認知課題の成績を予測しうるかどうかを調べるため, 高次認知課題成績を予測変数に, スパン得点と各処理効率の指標を説明変数とした重回帰分析 (強制投入法) を行い, その結果をTable 3にまとめた。言語 - 言語スパン得点は処理効率を統制したときでも, 依然として言語性認知課題成績を予測する有意な変数であった (標準化 $\beta = 0.708, p < 0.01$)。同じく, 空間 - 空間スパン得点も処理効率の個人差を統制した後も視空間性認知課題成績の分散を有意に予測した (標準化 $\beta = 0.471, p < 0.05$)。ちなみに, 処理効率はいずれの場合も有意な説明変数とはならなかった。したがって, 作動記憶スパンテストの処理成分ではなく, 記憶成分が高次認知課題の遂行に深く反映されていることが言語性・視空間性領域ともに確認された。一方, 0次相関では視空間性認知課題と有意な正の相関を示した言語 - 空間スパン得点は, 言語処理効率を統制した後では有意な説明変数とはならなかった (以下の高次認知課題についての分析も参照)。

Table 3. Results from multiple regression analyses for each cognitive task

Verbal cognitive task		Spatial cognitive task	
Verbal-verbal span test	$s\beta$	Verbal-spatial span test	$s\beta$
Span score	0.708 **	Span score	0.380
Speed	0.114	Speed	-0.188
Accuracy	-0.066	Accuracy	0.041
$R^2 = 0.423^{**}$		$R^2 = 0.229$	
Spatial-verbal span test	$s\beta$	Spatial-spatial span test	$s\beta$
Span score	-0.026	Span score	0.471 *
Speed	-0.095	Speed	0.020
Accuracy	-0.157	Accuracy	-0.130
$R^2 = 0.058$		$R^2 = 0.241^*$	

Note. $s\beta$ = standardized β

* $p < 0.05$. ** $p < 0.01$.

重回帰分析の結果から、言語・言語スパン得点と空間・空間スパン得点は、処理の速さや正確さといったスパンテストの処理効率を統制した後でも、言語性認知課題と視空間性認知課題の成績をそれぞれ有意に予測した。これは、同種表象の処理と保持とを含む作動記憶スパンテストのスパン得点が高次認知課題の成績の頑健な予測因子であることを裏付ける結果だと言える。一方、処理と保持とで異種の表象を扱うときの作動記憶スパン得点は、高次認知課題の成績と相関を示すことはあるものの、処理効率を統制したときには高次認知課題成績に対する有意な予測因子ではなくなってしまう。Shah & Miyake (1996) は、短期記憶容量の個人差を統制したとき、処理と保持が同種表象であるときの作動記憶スパンのみが、当該モダリティの高次認知課題の成績と有意な相関を維持することを示した。今回の結果はその発見を、処理効率を統制したときでも同じ傾向の結果が得られるというかたちで追認したものだと言える。しかしながら、標準化 β 係数や重相関係数 R^2 を比べると、作動記憶と高次認知との関連は、言語性領域のほうが視空間性領域よりも強いようだということも読み取れる。

最後に、今回使用した高次認知課題について、言語性と視空間性の認知課題間の相関係数はいずれのスパンテスト群もきわめて小さく (Table 1より $r(28) = 0.04, n.s.$, Table 2より $r(30) = 0.03, n.s.$)、それぞれが別の認知能力を測定していたと考えられる。しかし、視空間性認知課題成績と言語・空間スパンテストの処理速度との間には有意な相関が見られ (Table 1より, $r(28) = -0.38, p < 0.05$)、言語処理速度の速い人ほど視空間性認知課題で良い成績を収めることが示唆された。よって、今回採用した視空間性認知課題には、何らかの言語処理速度を反映する要素 (例えば、問題文を読む速度など) が含まれていた可能性も考えられ、今後は純粋に一般的視空間性認知能力が測定できるという点で、より妥当性の高い認知課題を用いる必要があると思われる。

考察

本研究は、処理と保持とで同種の表象を扱う作動記憶スパンテスト、具体的には言語・言語スパンテスト・空間・空間スパンテストにおけるスパン得点 (作動記憶容量) が、それぞれ言語性・視空間性の高次認知課題成績と領域固有的に有意な正の相関を示すことを実証し、各作動記憶スパンテストにおける処理効率の影響を取り除いたときでさえ、処理効率の影響を超えて高次認知課題成績の分散を有意に説明しうることを明らかにした。ただし、作動記憶スパンと高次認知との関連は、視空間性領域のほうが相対的に小さいことも観察されたが、これは視空間性認知能力が作動記憶容量よりも制御機能に負うところが大きいのも一因かもしれない (Miyake et al., 2001)。一方、処理と保持とで異なる種類の表象を扱う作動記憶スパンテスト、具体的には言語・空間スパンテスト・空間・言語スパンテストのスパン得点は、保持成分と同じモダリティの高次認知課題とだけ選択的に有意な相関を示すということではなく、処理効率を統制した後ではいずれも高次認知課題の成績を有意に予測する説明変数にはならなかった。

よって、本研究では言語性材料と視空間性材料とを組み合わせさまざまな作動記憶スパンテストを作成・実施したが、それら作動記憶スパンテストによって測定されるいくつかの指標のうち、今回用いた高次認知課題のパフォーマンスに最も大きく関与しているのは「ある認知処理をしながら、その処理課題と同じ種類の表象に属する情報を保持しておく、領域固有的な作動記憶

容量」だと結論できそうである。

しかし、高次認知能力の発揮に最も重大な役割を負っている因子は、作動記憶の保持容量か処理効率か、あるいはそれらの働きを統御する制御機能であるかは十分に明確にはなっていない (Jarrold & Towse, 2006)。短期記憶容量は高次認知課題成績との相関が低いことを考えると、記憶容量そのものが単体で影響しているとは考えにくい。また、本研究でも実証されたように、処理効率もそれ自体では影響力がない。やはり単なる保持能力や処理能力を超えて、作動記憶容量として測定される「何らかの能力」が高次認知能力を支える柱だと思われる。そして、本研究で示唆されたように、特に重要なのは領域固有的な作動記憶容量である。Kane et al. (2004) は共分散構造分析を用いて、領域一般的注意制御よりも領域固有的保持能力が言語性および空間性推論能力に強く関与していることを示したが、どのようなメカニズムがどのように関与しているかは明らかではない。同種の表象は互いに干渉しあい記憶痕跡を傷つけあうため、作動記憶スパンテストにおいて保持項目を維持するためには処理課題からの干渉に抵抗する能力が要求されると考えられる。不要な情報からの干渉に抵抗する能力は制御機能の下位機能のひとつである。以下では表象干渉が作動記憶容量の最も強力な規定因のひとつであることを提案し、それに対する抵抗力が高次認知を支えるメカニズムである可能性を議論する。

Saito & Miyake (2004) は、処理課題の時間と処理量を別々に統制できるリーディングスパンテストを開発・実施したところ、処理量が一定であれば処理に要する時間はスパン得点には影響せず、記銘から再生までの保持時間が一定であれば処理量の増加がスパン得点を減少させることを実証した。また、Maehara & Saito (2007) では、作動記憶スパン課題における処理課題と記銘項目が同種表象（言語・言語・空間・空間）であれば記銘から再生までの処理量が増加するとスパン得点は減少するが、異なる表象（言語・空間・空間・言語）のときは処理量が増えてもスパン得点は変化しないことが示された。これらの研究から、保持項目が同種表象の処理課題から受ける領域固有的な表象干渉の量が、作動記憶スパン得点すなわち作動記憶容量を左右する決定因のひとつであることがわかる。

つまりは、作動記憶容量の個人差は表象干渉に対する抵抗力の個人差を反映していると言えるかもしれない。実際にFriedman & Miyake (2004) は共分散構造分析を用いて、順行干渉に対する抵抗力の個人差がリーディングスパン得点の個人差を予測しうることを示した。ただし、順行干渉抵抗力の因子は言語性課題のみから抽出されており、リーディングスパンテストも言語性作動記憶を測定する課題であるため、視空間性表象を用いても結果が再現できるかどうかは要検討だろう。しかし、表象干渉に対する抵抗力（あるいは抑制力）が作動記憶容量の個人差を規定する要因のひとつに数えられることは間違いなく、したがって、他の情報からの干渉に抵抗して必要な情報を保持するという表象どうしの関係を調整・制御する能力が高次認知能力の根幹を成す主要な因子のひとつである可能性は十分に考えられる。

また、共分散構造分析を用いた個人差研究は、知能に対する作動記憶の寄与を明らかにしつつある。Kane et al. (2004) は領域一般的な注意制御機能が流動性知能に対する強力な予測因子であることを確認し、知能には作動記憶の領域一般的要素が深く関わっている可能性を示唆した（ただし、Ackerman et al., 2005も参照）。Friedman et al. (2006) は不要になった情報を更新する能力が流動性知能や結晶性知能を予測することを発見したが、情報の更新能力は作動記憶

容量を予測する因子でもあることが知られている (Miyake et al., 2000)。一方、制御機能の他の下位コンポーネントである優勢反応の抑制と認知セットの切り替えは、知能検査成績に対して有意な予測力を持たなかった。これらの研究から、作動記憶容量と知能検査成績との間に有意な相関が見出されるとき、その根底には領域一般的な制御機能、特に情報の更新能力の関与がうかがえると言える。

まとめると、高次認知能力を予測し、作動記憶容量として反映される「何らかの能力」の候補として、表象干渉への抵抗力と情報の更新能力とが挙げられる。前者は本研究でも観察されたように領域固有的な問題解決に関わり、後者は領域一般的な制御機能の働きであり知能の構成体のひとつであることが推察された。しかしながら、近年盛んに用いられている共分散構造分析も含め個人差研究は、「何と何が関連しているか」を発見するのには非常に便利な手法だが、「それらがどのように関連しているか」というメカニズムまでは教えてくれない。今後は実験研究も併用しながら「何がどのように関連しているか」を探る研究がますます重要になってくるだろう。最後に、作動記憶の個人差研究に関する新たな展開に言及して本論文の結語に代えたい。

作動記憶と他の認知機能との個人差に関する研究領域はさらなる広がりを見せている。1990年代の半ばから、作動記憶の発達と心の理論 (theory of mind) の発達との関連を検討する研究が発表されるようになった。特に作動記憶容量の発達が心の理論と同期することが明らかにされ、心の理論の発現を促す要因のひとつであることが支持されている (Davis & Pratt, 1995; Gordon & Olson, 1998; Keenan, Olson, & Marini, 1998)。作動記憶は知能や問題解決能力だけでなく、社会的認知をも支える認知情報処理機構であるという見方が広まりつつあると言える。今後は社会的認知研究の分野でも作動記憶研究の知見がさらに活用されることが期待でき、実際そうすることによって、日常生活における人間の社会的行動に関する研究に、認知メカニズム解明の観点から光を当てることができるようになるだろう。

謝辞

本論文の作成に当たり、日ごろより数多くのご助言・ご指導を賜りました、京都大学大学院教育学研究科助教授の齊藤智先生に厚く感謝申し上げます。

¹ 本研究は、Maehara & Saito (2007) の各Experimentの最後に実施されたが、当該論文では公表されなかった京大NX15知能検査のデータを含めた、相関分析結果 (すべて未発表) をまとめたものである。

² 以下、「○○・△△スパン」といった表現において、○○は処理課題の性質、△△は記銘項目の性質を表わすとする。

³ Bayliss et al. (2003) は、実験1において7歳から9歳の子どもにも同様の課題を実施したが、大学生対象の結果とは異なる傾向の結果が得られていた。子どもと大人の作動記憶パフォーマンスの傾向には相違のあることがわかっている (例えば、Towse, Hitch, & Hutton, 2000)。子どもの作動記憶の発達・特徴に関しては、Bayliss et al. (2005); Conlin, Gathercole, & Adams (2005); Towse, Hitch, & Hutton (1998) などを参照。

⁴ Maehara & Saito (2007) の実験1には言語処理スパンテスト群が、実験2には視空間処理スパンテスト群がそれぞれ対応している。

⁵ 言語性記銘項目 (単語) であれ視空間性記銘項目 (ドット・イン・マトリックス) であれ、実験参加

者はどちらも呈示順序どおりの系列再生を求められた。しかし、単語は口頭再生であったため、再生されなかった単語があった場合、正しく再生された単語が本当に正しい系列位置すなわちリスト内の絶対的な再生順序に再生されていたか否かを判別することが難しい。よって、単語には正しい系列位置に正しく再生された項目のみを得点とする採点法を用いることができないため、再生順序に関係なく正しく再生された項目の総数を得点とした。

6 スパン得点や処理速度、正答率に関する記述統計量や統計的検定結果などの詳細は、Maehara & Saito (2007) を参照。

引用文献

- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2005). Working memory and intelligence: The same or different constructs? *Psychological Bulletin*, 131, 30-60.
- Baddeley, A., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 8 (pp. 47-89). Academic Press, New York.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Baddeley, A. D., Gunn, D. M., & Leigh, E. (2005). Mapping the developmental constraints on working memory span performance. *Developmental Psychology*, 41, 579-597.
- Bayliss, D. M., Jarrold, C., Gunn, D. M., & Baddeley, A. D. (2003). The complexities of complex span: Explaining individual differences in working memory in children and adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 71-92.
- Capon, A., Handley, S., & Dennis, I. (2003). Working memory and reasoning: An individual differences perspective. *Thinking & Reasoning*, 9, 203-244.
- Case, R., Kurland, M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and the growth of short-term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, 33, 386-404.
- Conlin, J. A., Gathercole, S. E., & Adams, J. W. (2005). Stimulus similarity decrements in children's working memory span. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A, 1434-1446.
- 千原孝司・辻村祐子 (1985). 清音3音節名詞について—40カテゴリー・500語の熟知価一. *滋賀大学教育学部紀要：人文科学・社会科学・教育科学*, 35, 75-99.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Davis, H. L., & Pratt, C. (1995). The development of children's theory of mind: The working memory explanation. *Australian Journal of Psychology*, 47, 25-31.
- Engle, R. W., Cantor, J., & Carullo, J. J. (1992). Individual differences in working memory and comprehension: A test of four hypotheses. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 18, 972-992.
- Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128, 309-331.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 101-135.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2005). Comparison of four scoring methods for the reading span test. *Behavior Research Methods*, 37, 581-590.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Corley, R. P., Young, S. E., DeFries, J. C., & Hewitt, J. K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17, 172-179.

- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C., & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology, 18*, 1-16.
- Gordon, A. C. L., & Olson, D. R. (1998). The relationship between acquisition of theory of mind and the capacity to hold in mind. *Journal of Experimental Child Psychology, 68*, 70-83.
- Hitch, G., Towse, J. N., & Hutton, U. (2001). What limits children's working memory span? Theoretical accounts and applications for scholastic development. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 184-198.
- Jarrold, C., & Towse, J. N. (2006). Individual differences in working memory. *Neuroscience, 139*, 39-50.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review, 99*, 122-149.
- Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The generality of working memory capacity: A latent-variable approach to verbal and visuospatial memory span and reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*, 189-217.
- Keenan, T., Olson, D. R., & Marini, Z. (1998). Working memory and children's developing understanding of mind. *Australian Journal of Psychology, 50*, 76-82.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity?! *Intelligence, 14*, 389-433.
- Maehara, Y., & Saito, S. (2007). The relationship between processing and storage in working memory span: Not two sides of the same coin. *Journal of Memory and Language, 56*, 212-228.
- Miyake, A., Friedman, N.P., Emerson, M.J., Witzki, A.H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*, 49-100.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Rettinger, D. A., Shah, P., & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General, 130*, 621-640.
- 菅阪良二・梅本堯夫 (1984). 新訂京大NX15-知能検査 (第2版). 大成出版・牧野書房, 神戸.
- Saito, S., & Miyake, A. (2004). On the nature of forgetting and the processing-storage relationship in reading span performance. *Journal of Memory and Language, 50*, 425-443.
- 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.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (1998). A reevaluation of working memory capacity in children. *Journal of Memory and Language, 39*, 195-217.
- Towse, J. N., Hitch, G. J., & Hutton, U. (2000). On the interpretation of working memory spans in adults. *Memory & Cognition, 28*, 341-348.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language, 28*, 127-154.

(教育認知心理学講座 博士後期課程1回生)

(受稿2006年9月8日、改稿2006年11月28日、受理2006年12月7日)

Individual Differences in High-Level Cognitive Skills and Working Memory Spans: An Examination with Verbal and Spatial Cognitive Tasks

MAEHARA Yukio

This study demonstrates the domain-specific contribution of verbal and spatial working memory (WM) capacity to complex cognitive ability among adults. Four kinds of WM span tests were developed by combining a verbal or spatial processing task with a verbal or spatial memory material. The verbal-verbal memory span correlated with a verbal cognitive measure, but not with a spatial cognitive measure; the reverse was true for the spatial-spatial memory span. The verbal-spatial and spatial-verbal memory spans, however, showed no such domain-specific pattern in correlation with the complex cognitive measure. Furthermore, the verbal-verbal and spatial-spatial memory spans sustained a significant predictive power for the cognitive measure involving the same kind of representation even after controlling the processing efficiencies, whereas the verbal-spatial and spatial-verbal memory spans did not. The findings confirm that a domain-specific factor of WM capacity is reflected in high-level cognitive performance, but many recent studies employing a latent-variable analysis provide support for a domain-general view of WM capacity. It is suggested that we should acknowledge the substantial influence of resistance to domain-specific representational interference as well as domain-general executive control on complex cognition and intelligence.