問題解決における問題空間とワーキングメモリ容量個人差の影響： Mastermind 課題を用いた検討

大塚 一 徳 (長崎県立大学経済学部)

宮 谷 真 人 (広島大学大学院教育学研究科)

Capacity constraints on working memory and the basic problem-solving space: The problem-solving process for the Mastermind game

Kazunori OTSUKA (*Faculty of Economics, University of Nagasaki*)

Makoto MIYATANI (*Graduate School of Education, Hiroshima University*)

Capacity constraints and resource consumption for working memory are examined with the Mastermind number-guessing game, which is directly related to the consumption of working memory resources. In the experiment, the working memory levels of 28 college student participants were measured with a Japanese version of the reading span test (RST). The participants then played the two, three, and four-dimensional versions of Mastermind. Each version of the game involves a different problem space. The results indicated that the seven students with low working memory capacities (low-span readers) were more constrained than the seven students with high working memory capacities (high-span readers) when playing in the large basic problem space (the four-dimensional version). The basic problem-space effects and the possibility that working memory, as measured by the RST, influences the problem-solving process are discussed in terms of the domain-specific, domain-general and executive functions of working memory.

Key words: working memory, problem solving, reading span test, problem space, Mastermind

本研究は、問題解決におけるワーキングメモリ容量個人差の影響について検討することを目的とした。実験課題として、ワーキングメモリ上の処理資源を必要とする課題で数当てゲームの一種である Mastermind という簡易なゲームを用いた。実験においては、28 名の実験参加者が実験に参加した。まず実験参加者は日本語版 RST によってリーディングスパンが測定された。次に、問題空間の異なる 3 種類の Mastermind (2 桁版, 3 桁版, 4 桁版)を行った。実験の結果、7 名の低スパン群の被験者は、7 名の高スパン群の被験者に比べて成績が劣り、特にもっとも問題空間の大きい課題 (4 桁版) の場合、両群間の差は顕著であった。この実験結果をもとに問題解決におけるワーキングメモリ容量個人差と問題空間の影響について、ワーキングメモリにおける資源の領域固有性、汎用性、情報の制御機能という観点から考察を行った。

キーワード：ワーキングメモリ、問題解決、リーディングスパンテスト、問題空間、マスターマインド

一般に、われわれは問題解決にあたって、さまざまな制約条件のもとで問題解決にあたらなければならない。問題解決における制約条件としては、大きく内的な制約条件と外的な制約条件に分けられる。内的な制約条件としては、領域固有の知識、推論能力、記憶能力といった内的資源による制約が挙げられる。一方、外的な制約条件としては、解決のための道具やサポートの有無といった外的資源に関連することや、課題の難易度や解決時間の制限といった課題そのものに由来する制約条件が考えられる。われわれはさまざまな制約条件のもと、自らが利用可能な内的資源と外的資源をできるだけ利用し、課題の制約条件に適応して効率的に解決にあたらうとする。本研究は、問題解決における内的な制約条件としてワーキングメモリを取り上げる。また、問題解決における外

的な制約条件として問題空間という課題そのものに由来する要因を取り上げる。

ワーキングメモリは、処理した情報の保持と、その情報に基づく認知活動を並列的にダイナミックに展開する一時的な記憶システムのことをいう (Just & Carpenter, 1992)。ワーキングメモリは、言語処理や (Miyake, Just, & Carpenter, 1994)、演繹推理 (Gilhooly, Logie, Wetherick, & Wynn, 1993) など、課題の遂行と情報の保持が並列的に処理されることが必要な多くの認知活動と深く関わっていることが指摘されている (学阪・学阪, 1994)。従来の短期記憶が情報の貯蔵庫としての機能を重視するのに対し、ワーキングメモリは、認知課題の遂行中に情報がいかに操作されるかといった、情報の処理機能を重視する記憶システムの概念である

(Miyake et al., 1994).

ある情報がワーキングメモリにいつでも検索可能な活性化状態で保持され、それに基づいて処理が進められるためには活性化のための処理資源 (processing resources) が必要とされる (齊藤, 1997). Baddeley (1986) や Just & Carpenter (1992) らは、共にこの処理資源を想定したワーキングメモリのモデルを提案している。特に Just & Carpenter (1992) のモデルは、Baddeley (1986) のモデルよりもワーキングメモリの処理的側面が強調され、認知過程を重視したモデルである (三宅, 1995)。

本研究では、ワーキングメモリを Just & Carpenter (1992) のモデルと同様に問題解決のための内的な処理資源として捉える。一連の先行研究から、この内的な処理資源としてのワーキングメモリはその処理資源容量に制限があり、その制限には個人差があると考えられる。したがって、問題解決において外的な制約条件が一様に課された場合においても、その影響はワーキングメモリ容量の個人差によって異なることが予想される。

このようなワーキングメモリ容量の個人差をもとにした分析を行うために本研究では、ワーキングメモリに関する多くの認知心理学的研究法の中でも、GP 分析法という手法を用いる。この手法は、ワーキングメモリスパン課題の成績をワーキングメモリ容量の指標として利用し、ワーキングメモリの処理資源容量の大きい人と小さい人といったワーキングメモリ容量の個人差が、ある特定の認知課題でどのような差を示すかを分析し、ワーキングメモリ容量の限界時における認知活動の制約について検討を進める手法である (三宅・齊藤, 2001)。

問題解決において、初期状態 (initial state)、目標状態 (goal state)、操作子 (operator) および操作子制約条件 (operator restriction) からなる問題状態 (problem state) が明確に定義されている問題を良定義問題 (well-defined problem) という。良定義問題における問題解決過程とは、初期状態から目標状態まで、適用可能な演算子を適宜用いることで問題状態を遷移させる過程と考えられる。この問題状態の集合は問題空間 (problem space) と呼ばれ、問題解決過程は問題空間内における探索過程として捉えられる (Newell & Simon, 1972)。したがって、同一の操作子 (operator) および操作子制約条件 (operator restriction) のもとでは、問題空間が大きくなればなるほど問題空間内を探索するための記憶負荷や情報の処理負荷は大きくなり、課題の難易度が増していく。

このように良定義問題における解決過程において、問題空間の大きさの違いは課題の難易度に影響する重要な要因である。すなわち、問題空間の大きさは目標状態にいたるための問題空間内における探索過程に影響を及ぼす直接的な要因の1つと考えられる。

これまで、問題解決とワーキングメモリの関連について検討した先行研究では、演繹推理課題におけるワーキングメモリの中央実行系の関与を報告した研究 (Gilhooly et al., 1993) や言語的ワーキングメモリ成分と視空間的ワーキングメモリ成分の関連を検討した研究 (Capon, Handley, & Dennis, 2003) が報告されている。また、領域に依存しない問題解決課題を実験課題として用いた研究では、ハノイの塔における再帰方略利用時の解決過程を検討した研究 (Carpenter, Just, & Shell, 1990)、ロンドン塔課題における言語的ワーキングメモリと視空間的ワーキングメモリ成分の関与を検討した研究 (Phillips, Wynn, Gilhooly, Della Sala, & Logie, 1999) 等が行われている。しかし、問題空間の大きさは課題の難易度に直接的に影響する重要な要因であるにもかかわらず、問題空間とワーキングメモリ容量個人差の関連はこれまで十分に検討されていない。

われわれは、問題空間の変化に応じて、適用可能な知識や利用方略を変化させたりすることで課題に対処していると考えられる。問題空間の大きさに対してわれわれがこのように適応的に対処する場合におけるワーキングメモリ容量の個人差の影響について検討することは、問題解決におけるワーキングメモリの処理資源の役割を検討する上で不可欠であると思われる。このような理由から、本研究では問題解決における課題に由来する外的な制約条件として、問題空間の大きさという要因を取り上げる。

内的な制約条件としてのワーキングメモリと外的な制約条件である問題空間に関して検討するためには、ワーキングメモリで情報を保持しつつ解を推論する、という並列的な処理が要求される実験課題が必要である。また、問題空間の論理的分析が可能でありかつ実験的に問題空間の大きさを統制できる課題が必要である。そこで本研究では、解決過程において情報の一時的保持とその処理が並列的に遂行される必要があり、領域固有の知識に依存しない Mastermind という課題を用いる。

Mastermind

本研究で実験課題として用いる Mastermind は、数当てゲームの一種であり、秘密の数をできるだけ少ない回数で当てることを競うゲームである。

実験課題で使用した Mastermind は数字の代わりに色 (R: 赤, G: 緑, Y: 黄, W: 白) を用い、その重複順列の1つ1つをコードと称し、当てるべきものを正解コード、実験参加者が挙げるものを質問コードと呼ぶ。なお、本実験では、4色から2個を (2桁版)、4色から3個を (3桁版)、3色から4個を (4桁版) とるといった3種類の Mastermind を用いた。2桁版、3桁版、4桁版 Mastermind の正解コード数は、各々16個、64個、81個である。3桁版は大塚 (2003)、4桁版は

ゲーム開始：入力して下さい				
step	guess	cp	cc	1 game
1	WWW			
		1	0	
2	YYY			
		1	0	
3	GYW			
		1	2	
4	WYG			
		3	0	

Figure 1. An example of the experimental task.

Laughlin, Lange, & Adamopoulos (1982) で用いられたものと同様のものである。

Figure 1 は 3 桁版 Mastermind について例示したものである。正解コードと質問コードを比較し、両方のコードに共に含まれる色の組数を j 、その中で位置も一致するものの組数を k とするとき、フィードバック情報として k (cp: correct position) と $j-k$ (cc: correct color) の値を返す。Figure 1 のように 3 桁版 Mastermind では cp, cc 値が 3, 0 で終了し、正解コードは WYG である。

領域に依存しない問題解決課題としてよく利用されるハノイの塔課題は、あらかじめ手がかり情報はすべて提示される課題であり、解にいたる問題空間の最適探索過程は常に一意に定まる。一方、Mastermind は、解決のための手がかり情報があらかじめ付与されず解決過程で徐々に呈示される。また解決のための手がかり情報は一時的なもので、ゲームごとに異なるという特徴がある(米川, 1991)。したがって、実験参加者は手がかり情報の保持と次の質問コードを生成するための推論という 2 つの処理を、ワーキングメモリにおいて並列的に行わなければならない。本実験課題は、このような特徴から問題解決におけるワーキングメモリ容量の制約を、他の領域に依存しない実験課題よりも多面的に検討できる課題であると考えられる。

さらに、このゲームは、正解コードの桁数と各桁における属性である色の個数によって正解コードの総数が決定し問題空間の大きさが定まる。正解コードの桁数が多いほど、問題空間が広がりゲームは難しくなる(奥田・大塚・井上, 1995)。しかし、このゲームのようにワーキングメモリでの並列的な処理が必要な課題では、問題空間の影響はワーキングメモリ容量の個人差によって異なることが予想される。ワーキングメモリは容量に厳しい制約がある(三宅・齊藤, 2001) ため、ワーキングメモリ容量の小さい解決者はワーキングメモリ容量に余裕のある解決者に比べ Mastermind の問題解決過程に

影響を受けやすく、その影響は問題空間が大きい場合により顕著に見られると予想される。そこで、本研究では問題空間の大きさの異なる実験課題として、2 桁版、3 桁版、4 桁版 Mastermind を利用し、実験参加者のパフォーマンスをワーキングメモリ容量の個人差をもとに問題空間の異なるゲーム間で比較、検討する。

ワーキングメモリ容量の測定

ワーキングメモリ研究において、Daneman & Carpenter (1980) によって開発されたリーディングスパン・テスト (Reading Span Test: 以下 RST と略) は、有益な研究道具として広く使われている(齊藤・三宅, 2000)。RST は次々と提示される文を実験参加者自身に口頭で読ませながら、文中の単語を記憶させていくという手法を用いるものである。このテストにおいて読みと並列的に記録する単語の再生数から算出される得点がリーディングスパン (以下スパンと略す) である。RST の実験参加者は、音読をしながら単語を保持するという二重課題を行う必要があり、ワーキングメモリでの並列的な処理が要求される(近藤・森下・荻阪, 1999)。

RST はもともと読みにおけるワーキングメモリ容量を測定するために開発されたもので、基本的には記憶課題でありながら、読み理解テストや言語の理解度を測定する言語的な認知課題と高い相関を示すテストであるところに特徴がある。ただし、RST に含まれると想定される心的過程は数多いため、RST がいったい何を測定しているのかについてはいまだ多くの議論や解釈が存在する(齊藤・三宅, 2000)。本研究では、RST がワーキングメモリにおける処理機能、貯蔵機能、注意制御機能といった複雑な要因を反映した課題(齊藤・三宅, 2000) であるという前提で検討を進める。この前提のもとに、実験参加者のワーキングメモリ容量の測定には、日本語 RST (荻阪・荻阪, 1994; 荻阪, 2002) を用い、RST によって測定されるワーキングメモリ成分をワーキングメモリ容量の指標として取り上げる。

大塚(2003) は、本研究と同様の 3 桁版 Mastermind を用いて、ディスプレイ上の解決履歴の有無という外的表象による記憶負荷の違いとスパン個人差の影響を検討した。その結果、実験参加者が記憶負荷の高い方略を利用しディスプレイ上の外的表象も利用できないという記憶負荷の大きい場合に、スパン得点の個人差の影響が顕著に見られた。一方、ディスプレイ上の外的表象を利用できる条件では、スパン得点の個人差の影響は見られなかった。この結果は、ディスプレイ上の外的表象の利用によって、記憶負荷が低減し処理資源に余裕ができたためであると考えられた。

大塚(2003) では課題の記憶負荷を統制し、実験参加者のスパン個人差との関連について検討を行ったのに対

して、本研究では問題空間の大きさという要因を操作する。問題空間の大きさを操作することによって、問題空間内を探索するための記憶負荷や情報の処理負荷といった問題解決過程における制約が、RSTによって測定されるワーキングメモリ容量の個人差とどのような関連があるのかについて検討する。

方 法

実験課題 2桁版、3桁版、および4桁版 Mastermind。各ゲームは、Pascal (Turbo Pascal Ver. 5.0) によって本実験用に作成されたもので、自動的に実験参加者の試行ごとの、質問コード、試行回数、各ゲームの正解コードが履歴ファイル上に保存された。実験参加者はパソコン (NEC PC-9821Ld) 上でゲームを行った。

実験中、実験参加者はメモや筆記具を利用することはできず、また Figure 1 のゲーム事態とは異なり直前の質問コードとフィードバック情報しかディスプレイ上で参照できなかった。正解コードはランダムに選ばれ、1ゲーム中実験参加者は10試行まで可能であった。10試行目においても実験参加者が正解コードを見つけることができなかった場合は、強制的に次のゲームへと進行した。

RSTの測定 RSTは、日本語版 RST (荳阪・荳阪, 1994; 荳阪, 2002) が用いられた。実施方法も、荳阪・荳阪 (1994) に準じ個別に行われ、2文条件から5文条件までそれぞれ5試行が行われた。各文条件5試行のうち3試行正解の場合はそのセットをパスしたものとし、2試行だけ正解のときは0.5点の評価点を与えた。ある文条件で2試行以上正答できなかった場合は、そこで測定を終了した。

実験計画 スパン×問題空間の混合計画。第1要因は実験参加者間配置、第2要因は実験参加者内配置で、2桁版、3桁版、4桁版各 Mastermind の3条件。

実験参加者 実験参加者は、大学生28名で、すべての実験参加者はパソコンの操作に関して6カ月以上の経験があり、タッチタイピングの授業を受講した後であった。また、過去にこのゲームを行った経験のある実験参加者はいなかった。

手続き まず実験参加者全員に対して、RSTが行われた。後日、実験参加者は2桁版、3桁版、4桁版の Mastermind を個別に行った。実験参加者1人あたり各桁1ゲームの練習後、5ゲームを連続して行った。

結 果

RST 実験参加者28名のスパンの最小値は2.0、最大値は5.0であり、平均値は3.00、SDは1.06であった。スパン得点によるもっとも一般的な分類法 (Caplan & Waters, 1999) にしたがって、スパンが4.0以上の実験

Table 1
Mean performance on reading span tests

	<i>M</i>	<i>n</i>	<i>SD</i>
High span	4.57	7	0.53
Medium span	3.14	7	0.24
Low span	2.14	14	0.23
Total	3.00	28	1.06

Figure 2. Mean trials. Bars on the figures indicate standard errors.

参加者 (高スパン群)、3.0 および 3.5 の実験参加者 (中スパン群)、2.0 および 2.5 の実験参加者 (低スパン群) に分け、各群の人数、平均値、標準偏差を示したものが Table 1 である。

実験参加者の分類 スパン得点によって上位群と下位群を分類し、他の課題の成績を比較するという方法では、通常上位25%と下位25%の比較が行われる (Conway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, & Engle, 2005)。本研究においても、スパン得点上位25%の実験参加者7名を高スパン (high span) 群に、スパン得点下位25%の実験参加者7名を低スパン (low span) 群に振り分けた。高スパン群のスパン得点平均値は4.57、SDは0.53であり、低スパン群のスパン得点は、全員が2.0であった。なお、各桁版のゲーム順序は6通りの方法がある。各群では5通りのゲーム順に1名ずつ実験参加者をランダムに割りあて、残りの1通りのゲーム順に2名の実験参加者をランダムに割りあてた。

試行回数 試行回数とは、各ゲームにおいて、実験参加者が正解コードに至るまでの回数である。実験参加者は各桁5ゲームを行ったので、5ゲームの試行回数の平均値を実験参加者のその桁における試行回数とした。Figure 2は、各群の平均試行回数を図示したものである。

Figure 3. Mean solution games. Bars on the figures indicate standard errors.

平均試行回数に対し、スパン要因×問題空間要因の2要因分散分析を行った結果、スパン要因の主効果が有意($F(1, 12)=6.17, p<.05$)であり、高スパン群の平均試行回数が低スパン群の平均試行回数より有意に少なかった。また、問題空間要因の主効果が有意($F(2, 24)=51.23, p<.001$)であった。多重比較(Bonferroniの方法)の結果、5%水準で有意差が見られ、2桁版<3桁版、2桁版<4桁版、3桁版<4桁版であった。2要因の交互作用は、有意でなかった($F(2, 24)=.88, ns$)。

解決ゲーム数 本実験の場合、1ゲーム中10試行までという制限がある。そのために、10試行以上の試行は、すべて10試行に切り詰められた結果となる。この点を補うために、実験参加者のパフォーマンスを測定する指標として1ゲーム10試行以内で解決できたか否かという点に注目した解決ゲーム数という指標も分析対象とした。これは、実験参加者が各桁5ゲーム中において解決できたゲーム数を分析対象としたものである。Figure 3は、各群の平均解決ゲーム数を図示したものである。各群の平均解決ゲーム数に対し、スパン要因×問題空間要因の2要因分散分析を行った結果、スパン要因の主効果($F(1, 12)=6.70, p<.05$)、問題空間要因の主効果($F(2, 24)=9.80, p<.001$)、2要因の交互作用が有意($F(2, 24)=5.85, p<.01$)であった。交互作用について分析するために、問題空間の水準ごとにスパン要因の単純主効果を検定した結果、スパン要因の単純主効果が4桁条件で有意($F(1, 12)=10.02, p<.01$)であり、高スパン群の実験参加者は低スパン群の実験参加者に比べ解決ゲーム数が多かった。2桁条件($F(1, 12)=1.00, ns$)、3桁条件($F(1, 12)=1.12<ns$)では、スパン要因の単純主効果は有意でなかった。

また、高スパン群、低スパン群別に問題空間要因の単純主効果を調べたところ、問題空間要因の単純主効果は

Figure 4. Mean duplication trials. Bars on the figures indicate standard errors.

低スパン群のみで有意($F(2, 24)=15.01, p<.001$)であった。多重比較(Bonferroniの方法)の結果、5%水準で有意差が見られ、2桁版>3桁版、2桁版>4桁版、3桁版>4桁版であった。

質問コード重複利用回数 1ゲーム中、実験参加者が一度利用した質問コードを再度利用した回数が質問コードの重複利用回数である。実験参加者の5ゲームにおける重複利用回数の平均値を、その桁における重複利用回数とした。Figure 4は、各群の平均重複利用回数を図示したものである。平均重複利用回数に対し、スパン要因×問題空間要因の2要因分散分析を行った結果、スパン要因の主効果が有意($F(1, 12)=6.06, p<.05$)であり、高スパン群の平均重複試行回数は低スパン群の平均重複回数より少なかった。また、問題空間要因の主効果が有意($F(2, 24)=4.90, p<.05$)であった。多重比較(Bonferroniの方法)の結果、5%水準で有意差が見られ、2桁版<4桁版であった。2要因の交互作用は、有意でなかった($F(2, 24)=1.68, ns$)。

考 察

本研究の目的は、問題解決において問題空間の大きさの違いによる記憶負荷や情報の処理負荷の差異が、実験参加者の解決過程にどのような影響を及ぼすのかについて、RSTによって測定されるワーキングメモリ容量の個人差をもとに査定することであった。スパン要因として実験参加者を低スパン群、高スパン群の2群に振り分けた。問題空間要因として2桁版、3桁版、4桁版 Mastermind の3条件を設定した。

実験結果の分析にあたり、実験参加者の問題解決過程を査定する3つの指標を用いた。1つは、実験参加者が1ゲーム中に正解コードに至るまでの試行回数である。2つ目は実験課題5ゲーム中、何ゲームで正解コードを

発見でき解決することができたかという解決ゲーム数である。この2つの指標は、実験参加者がワーキングメモリの処理資源を問題解決における情報の処理と保持に効率よく分配し、適切に問題解決を行っていたことを示す指標である。3つ目は質問コード重複利用回数である。この指標は問題解決過程において、実験参加者がワーキングメモリの処理資源を適切に情報の保持に配分することができず一度利用した質問コードを再度利用したことを示すものである。すなわち、実験参加者が、問題解決過程における情報の保持を適切に行っていたかを示す指標である。

試行回数に関する分析の結果、スパン要因の主効果が有意であり高スパン群の実験参加者は低スパン群の実験参加者よりも試行回数が少なかった。これは、高スパン群の実験参加者が、低スパン群の実験参加者に比べ、ワーキングメモリの処理資源に余裕があり効率的な手がかり情報の保持と推論が可能であったことを示している。また、問題空間要因の主効果も有意であり、問題空間の広がりによる記憶負荷や情報の処理負荷の増加が本実験課題の解決過程に影響を及ぼしていたことが示された。

解決数に関する分析の結果、2要因の交互作用が有意であった。低スパン群の実験参加者に問題空間要因の単純主効果が有意であり、4桁条件でスパン要因の単純主効果が有意であった。この結果は、低スパン群の実験参加者がワーキングメモリの処理資源に余裕がなく、問題空間要因の影響を受けたことを示す結果であり、また4桁条件というもっとも問題空間が大きく記憶負荷が高い条件で、ワーキングメモリ容量の個人差の影響が見られたことを示す結果である。

質問コード重複利用回数に関する分析の結果、スパン要因の主効果が有意であった。高スパン群の実験参加者は、問題解決過程において適切に必要な情報の保持ができたことを示す結果である。また、問題空間要因の主効果も有意であった。問題空間の広がりによって記憶負荷が増加し、適切な情報の保持が困難になっていたことを示唆する結果である。

なお、試行回数と質問コード重複利用回数の分析において交互作用は見られなかった。この原因の1つとして、1ゲームの試行回数の上限を10回としているためこの上限を超える試行回数がすべて10回と切り詰められてカウントされたことが挙げられる。

以上の本研究における実験結果は、問題解決において問題空間の影響は、ワーキングメモリ容量個人差によって異なることを示唆する結果である。また、問題解決において問題空間の影響は問題空間が大きいほど、かつワーキングメモリ容量の制約が大きいほど顕著に見られることが示唆される。

質問コード重複回数による分析から、ワーキングメモ

リ容量の制約が大きい場合、ワーキングメモリの処理資源を問題解決に必要な処理成分と保持成分に適切に分配することができず、必要な情報の保持に失敗していたことが示唆される。

本研究結果は、大塚(2003)の結果と同様に、低スパン群に問題空間の違いによる情報の処理負荷や記憶負荷の影響が見られた結果である。これらの結果は、問題解決における処理負荷や記憶負荷の影響は、解決者に様なものではなく、ワーキングメモリ容量の個人差によって異なる(荻阪, 1998)ことを示す結果である。

ワーキングメモリの処理資源モデル(Just & Carpenter, 1992)では、問題解決において課題が複雑になればなるほどワーキングメモリ容量の個人差が成績に影響することが仮定されている(Miyake, 1994)。本研究結果も、この仮説を支持する結果である。また、課題の複雑性を決定しワーキングメモリ容量の個人差影響を規定する要因として、問題空間という要因が重要であることが本研究結果から示唆される。

ワーキングメモリの処理資源は、さまざまな認知的領域に共通な一般的な資源であるという見解(Turner & Engle, 1989)と領域に固有な資源であるという見解(Shah & Miyake, 1996)とがあった。最近ではこの2つの見解は相容れないものではなく、相補的なものと捉えることの重要性が認識されつつある(Miyake & Shah, 1999)。RSTは、これまで言語的なワーキングメモリ成分の指標として利用され、他の言語的な認知課題との関連が検討されてきた。一方、RSTと必ずしも言語的ではない認知課題との関連も報告されてきた。例えば、スパンと視空間的演繹推理課題(Capon et al., 2003)や非言語的な知能テストであるRaven's Progressive Matrices Test(Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999)といった認知課題との関連も指摘されている。このようなスパンと非言語的認知課題との関連を指摘した研究からは、RSTによって測定されるワーキングメモリ成分が言語的な領域に固有のものだけではなく、汎用的な成分を含むことが示唆されている。本研究結果から、問題解決におけるワーキングメモリの処理資源の言語的な成分の関連と、汎用的な成分との関連という2つの視点から検討していくことが今後必要になる。

前者の視点からは、本研究結果は、Mastermindの解決過程には言語的な情報処理が重要な役割を担っており、RSTによって測定されたワーキングメモリの言語的な成分の個人差が、問題解決における言語的な情報処理の個人差と関連していると考えることが可能である。すなわち、Mastermindの解決過程においては言語的な情報処理が必須であり、本研究で示されたMastermindとRST得点の個人差との関連は、問題解決過程におけるワーキングメモリの言語的な成分の個人差を示唆する結

果と解釈することができる。例えば、Mastermind の解決過程において「黄色が 1 つ含まれる」、「Y は右端」といったように、実験参加者は下位問題の解を言語的に保持していたと考えれば、このような問題解決における言語的な情報処理が、RST によって測定されるワーキングメモリの言語的な成分と関連していたと推測することも可能である。

一方、領域に依存しない問題解決課題におけるワーキングメモリの言語的な成分の重要性に疑問を投げかける研究結果も報告されている。例えば、Phillips et al. (1999) は、構音抑制が、ロンドン塔課題の成績を向上させることを報告している。彼らの研究では、ロンドン塔課題の解決過程において、構音抑制によってワーキングメモリの言語的な成分の利用を抑制することが、視空間スケッチパッドにおける適切な方略の利用を促進し成績の向上につながったことが示唆されている。本実験課題とワーキングメモリの言語的成分の関連については、構音抑制や空間的タッピングを利用した二重課題法による実験的検討が今後必要である。

また、RST に代表されるワーキングメモリスパン課題で測定されるワーキングメモリ成分には、領域に依存しない汎用的な成分が含まれるという実験結果も報告されている。例えば、Maehara & Saito (2007) は、ワーキングメモリスパン課題における保持成分の表象に関する領域固有的な干渉の影響を実証しつつも、処理成分は保持成分の表象に関係なく汎用的に影響を及ぼすことを報告している。このような RST で測定される領域に依存しない汎用的な成分と問題解決過程との関連を、検討することが今後の課題となる。

Mastermind の解決過程において、実験参加者は、問題空間の探索のために下位問題の生成と維持、方略の選択、不必要な情報の抑制、といった処理をワーキングメモリで行い情報を制御していくことが必要とされる。Mastermind の解決過程に必要とされるこのような情報の制御は、近年ワーキングメモリの中央実行系の中心的な機能として注目されている注意の制御、情報の抑制、情報の更新といった情報の制御機能(齊藤, 2002)と類似した機能であると考えられる。本研究課題のように色と位置という 2 次元の属性を持つ必ずしも言語的要素のみを含むとはいえない課題の問題解決過程とスパン個人差との関連が見られたという結果は、スパン得点の個人差がワーキングメモリの領域に依存しない汎用的な情報の制御機能の個人差を反映したものであると考えることも可能である。Capon et al. (2003) は、演繹推理課題においてワーキングメモリスパン課題によって測定される言語的な成分と視空間的な成分に加えて、表象の生成や比較といった処理に関連する領域に依存しない汎用的な成分も重要な影響を及ぼすことを示唆している。本

研究結果も、スパン得点によって測定される何らかの汎用的な成分が、問題解決過程に影響していることを示唆するものと解釈することも可能である。

齊藤・三宅(2000) は、RST が何を測っているのかに関する 6 つの仮説を比較検討し、RST 得点を指標とする作動記憶容量には、処理機能と貯蔵機能に加えて注意制御機能の役割を想定することの必要性を指摘している。ワーキングメモリスパン課題におけるこの 3 つの機能が、問題解決過程において相互にどのように関連しているのかについて、処理機能に関しては解決方略に関する検討を、貯蔵機能との関連では短期記憶スパンとの関連の検討等を行う必要があり、今後の検討課題である。

引用文献

- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Caplan, D., & Waters, G. S. (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences*, **22**, 77-126.
- Capon, A., Handley, S., & Dennis, I. (2003). Working memory and reasoning: An individual differences perspective. *Thinking & Reasoning*, **9**, 203-244.
- Carpenter, P. A., Just, M. A., & Shell, P. (1990). What one intelligence test measures: A theoretical account of the processing in the raven progressive matrices test. *Psychological Review*, **97**, 404-431.
- Conway, A. R. A., Kane, M. J., Bunting, M. F., Hambrick, D. Z., Wilhelm, O., & Engle, R. W. (2005). Working memory span tasks: A methodological review and user's guide. *Psychonomic Bulletin and Review*, **12**, 769-786.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, **19**, 450-466.
- 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.
- Gilhooly, K. J., Logie, R. H., Wetherick, N. E., & Wynn, V. (1993). Working memory and strategies in syllogistic reasoning tasks. *Memory & Cognition*, **21**, 115-124.

- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, **99**, 122-149.
- 近藤洋史・森下正修・芋阪直行 (1999). 読みのワーキングメモリとリーディングスパン・テスト 心理学評論, **42**, 506-523.
- (Kondo, H., Morishita, M., & Osaka, N. (1999). Working Memory in reading and the reading span test. *Japanese Psychological Review*, **42**, 506-523.)
- Laughlin, P. A., Lange, R., & Adamopoulos, J. (1982). Selection strategies for "Mastermind" problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **8**, 475-483.
- 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. (1994). Toward a unified theory of capacity constraints: The role of working memory in complex cognition. *Cognitive Studies: Bulletin of Japanese Cognitive Science Society*, **1**, 43-62.
- 三宅 晶 (1995). 短期記憶と作動記憶 高野陽太郎 (編) 認知心理学 2 記憶 東京大学出版会 pp. 71-99.
- (Miyake, A.)
- Miyake, A., Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1994). Working memory constraints on the resolution of lexical ambiguity: Maintaining multiple interpretations in neutral contexts. *Journal of Memory and Language*, **33**, 175-202.
- 三宅 晶・齊藤 智 (2001). 作動記憶研究の現状と展開 心理学研究, **72**, 336-350.
- (Miyake, A., & Saito, S. (2001). Current trends and future directions in working memory research. *The Japanese Journal of Psychology*, **72**, 336-350.)
- Miyake, A., & Shah, P. (1999). Toward unified theories of working memory: Emerging general consensus, unresolved theoretical issues, and future research directions. In A. Miyake, & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press. pp. 442-481.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- 奥田富蔵・大塚一徳・井上 靖 (1995). 数当てゲーム ITS のためのプレー知識の構造について CAI 学会誌, **11**, 183-194.
- (Okuda, T., Otsuka, K., & Inoue, Y. (1995). On the knowledge structure of Mastermind game for an ITS. *Journal of Japan Society for CAI*, **11**, 183-194.)
- 芋阪満里子 (1998). ワーキングメモリと言語理解の脳内メカニズム 心理学評論, **41**, 174-193.
- (Osaka, M. (1998). Brain mechanisms of working memory and language comprehension. *Japanese Psychological Review*, **41**, 174-193.)
- 芋阪満里子 (2002). 脳のメモ帳 ワーキングメモリ 新曜社.
- (Osaka, M. (2002). *Working Memory: The sketchpad in the brain*. Tokyo: Shinyosya.)
- 芋阪満里子・芋阪直行 (1994). 読みとワーキングメモリ容量—日本語リーディングスパン・テストによる測定— 心理学研究, **65**, 339-345.
- (Osaka, M., & Osaka, N. (1994). Working memory capacity related to reading: Measurement with the Japanese version of reading span test. *Japanese Journal of Psychology*, **65**, 339-345.)
- 大塚一徳 (2003). 問題解決におけるリーディングスパン個人差の影響 心理学研究, **74**, 460-465.
- (Otsuka, K. (2003). Reading span as an individual difference and cognitive problem solving performance. *Japanese Journal of Psychology*, **74**, 460-465.)
- Phillips, L. H., Wynn, V., Gilhooly, K. J., Della Sala, S., & Logie, R. H. (1999). The role of memory in the Tower of London task. *Memory*, **7**, 209-231.
- 齊藤 智 (1997). 音韻的作動記憶に関する研究 風間書房.
- (Saito, S.)
- 齊藤 智 (2002). 認知心理学における中央実行系概念の変遷 認知リハビリテーション, **2002**, 1-8.

- (Saito, S. (2002). The central executive: A concept and its variants in cognitive psychology. *Cognitive Rehabilitation*, **2002**, 1-8).
- 齊藤 智・三宅 晶 (2000). リーディングスパン・テストをめぐる6つの仮説の比較検討心理学評論, **43**, 387-410.
- (Saito, S., & Miyake, A. (2000). A systematic evaluation of six hypotheses on the reading span test. *Japanese Psychological Review*, **43**, 387-410.)
- 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.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, **28**, 127-154.
- 米川 勉 (1991). 継時的に集積する情報の処理過程—記憶と処理におこるトレード・オフの軽減に関して— 心理学研究, **62**, 96-101.
- (Yonekawa, T. (1991). How people process increasing amounts of information as trials go on: Reduction of the trade-off between memory and information-processing in the mental resources. *Japanese Journal of Psychology*, **62**, 96-101.)
- (2007年9月28日受稿, 2007年12月26日受理)