

# 問題解決における分散ワーキングメモリ資源と 外的表象の利用

大塚 一徳・宮谷 真人

(2007年10月4日受理)

Distributing Working Memory Resources and the Use of  
External Representations on Problem Solving

Kazunori Otsuka and Makoto Miyatani

**Abstract.** This study examines how problem solvers use distributing working memory resources over internal and external representations. Participants played three-dimensional versions of number guessing games. The playing of number guessing games is directly related to consumption of working memory resources. They could use arbitrarily the game record windows which are the external representations of these games and, thus, they could distribute working memory demands over internal working memory resources and external representations. The extents of their using external representations differed depending on the participants. The participants (8 students) who used the external representations on all 10 games did better performances than the participants (43 students) who used the external representations on several games not on all games and the participants (19 students) who did not use the external representations, and got more game record windows than 43 participants who used the external representations not on all 10 games. The results provide evidence about the roles of the external representations and individual differences on the extents of using the external representations.

Key words: problem solving, working memory, external representation

キーワード：問題解決，ワーキングメモリ，外的表象

一般に、我々は問題解決にあたって、様々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等が考えられる。我々は様々な制約条件のもと、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。

## 問題解決における認知的制約

Cary & Carlson (1999) は問題解決における認知的な制約 (cognitive constraints) を、さらに概念的 (conceptual)、解決過程 (process limitations)、論理的 (logical)、状況的 (situational) といった内容に分類している。概念的な制約とは解決者による課題そのものに関する知識や課題に関する領域知識による制約である。解決過程における制約とは、解決過程において下位問題の解や必須の情報を保持するためのワーキングメモリ容量の制約である。論理的制約とは、高次の解にいたるためには低次の解を正しく導き出すことが必須条件となるような解決過程の論理整合性によるものである。例えば、計算問題において途中の計算が

間違っていると最終的な計算結果も間違える場合がある。この場合、途中の計算結果が正しいことが、最終的な正解を得るための必須条件となるといった論理性である。状況的制約とは、問題解決が行われる特定の個人の内的かつ外的な環境による制約である。本研究では、このような制約の中でも、外的表象を利用できるか否かといった状況的な制約をとりあげる。

### 外的表象とワーキングメモリ

問題解決において我々はしばしば、大切な情報をメモに書き留めるといったように外的表象 (external representations) を利用する (Intons-Peterson & Fournier, 1986)。このような外的表象の利用は、問題解決において重要な役割を果たしている (Larkin, 1989; Zhang & Norman, 1994)。ある問題解決事態において外的表象が利用可能である場合、課題事態が認知主体の内部と外部にわたる問題空間を持った分散認知課題 (distributed cognitive tasks) と捉えられる (Zhang & Norman, 1994)。このような分散認知課題の解決過程において外的表象の利用は、解決のために必須の情報を保持し適切に操作することと、解決のためにどのような方略を利用するかという少なくとも2点に関して重要な役割を果たすと考えられる (Cary & Carlson, 1999)。

問題解決における外的表象の利用にあたっては、内的資源であるワーキングメモリと協調させなければならない (Carlson, Wenger, & Sullivan, 1993)。したがって、ワーキングメモリの機能を考えるうえで、外的表象と内的表象の相互作用について検討することは重要なことである (Carlson, 1997; Miyake & Shah, 1999)。また、問題解決過程を解明していくためにも、内的資源としてのワーキングメモリと外的表象のダイナミックな相互作用について検討していくことの重要性が指摘されている (Larkin, 1989; Zhang, 1997; Zhang & Norman, 1994)。

我々が高次認知課題を遂行するうえで、ワーキングメモリにおいて情報を適切に操作し保持することは必須のことであり、適切にワーキングメモリ資源を管理し利用している。そのために、例えばノートをとるといった外的表象を利用する方略や、言語的なりハーサルを行うといった内的表象を利用する方略を我々は適宜利用している (Cary & Carlson, 2001)。外的表象を利用することが可能な場合、すべての重要な情報が外的に記録されるわけではなく、内的に保持する情報と外的に保持する情報に振り分けられる (Schönpflug, 1986)。同時並列的に進行する情報の保持や処理といったワーキングメモリにおける内的な心的プロセスと外

的に保持される情報である外的表象は、適切に協調され利用されることが必要である。このように、外的表象が利用可能な場合の問題解決過程における情報の保持や処理は、処理資源そのものが内的なものから外的なものにわたって分散する、分散ワーキングメモリ資源 (distributing working memory resources) と考えられる (Cary & Carlson, 2001)。

問題解決において内的表象から外的表象にわたって分散するワーキングメモリ資源が、問題解決過程にどのような影響を及ぼすのかを検討した先行研究では、外的表象の利用と解決手順の関連を検討したもの (Cary & Carlson, 1999) と外的表象の内容や種類を検討したもの (Cary & Carlson, 2001) がある。Cary & Carlson (1999) は、コンピュータディスプレイ上に提示される歩合計算課題における紙と鉛筆による外的表象について実験的に検討を行った結果、実験参加者は、外的表象が利用できる場合はワーキングメモリへの記憶負荷に関わらず課題の内容に沿った解決手順をとること、特定の解決手順に収斂するまでに時間がかかることが示された。また、Cary & Carlson (2001) は、同様に計算課題における紙と鉛筆による外的表象の内容やディスプレイ上の外的表象の種類について実験的に検討した結果、解決のために必須の情報が外的表象として記録され利用されること、外的表象として記録する際に心的努力が必要とされる場合には記録される外的表象が少なくなることを報告している。

これらの研究では、外的表象の利用そのものが解決過程に及ぼす影響や認知主体側の個人差については十分に検討されていない。そこで本研究では、問題解決における認知主体の内的から外的に分散するワーキングメモリ資源環境において、外的表象の利用・非利用によって解決過程は異なるのか、外的表象の利用はどの程度パフォーマンスに有効であるのか、また、記憶スパンのような認知主体側の個人差の影響はあるのかといった点について検討することを目的とする。

問題解決における分散ワーキングメモリ資源に関して実験的にこれらの点を検討するためには、解決過程において外的表象の利用が重要な影響を及ぼすことが明らかであり、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。そこで本研究では、解決過程において外的表象の有無が重要な役割を果たし、かつ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簡易なワーキングメモリ課題を実験課題として用いる。

**実験課題**

本研究の実験課題は、数当てゲームの一種であり3桁の秘密の数をできるだけ少ない回数で当てて競うゲームである。実験課題で使用した数当てゲームは0, 1, 2, 3の数字を用い、その重複順列の1つ1つをコードと称し、当て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、本実験課題の正解コード数は、64個である。この実験課題の構造は、大塚（2003）で利用された課題と同型のものである。

図1は実験課題を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数字の組数をj、その中で位置も一致するものの組数をkとすると、フィードバック情報としてk(CP: Correct Position) とj-k(CN: Correct Number)の値を返す。図1のように本実験課題はCP, CN値が3, 0で終了し、正解コードは231である。この実験課題において、解決者が産出する解決履歴は、外的表象として解決過程に重要な役割を果たしている（大塚, 2003）。

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、本実験課題は、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行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。

**外的表象**

問題解決において利用される外的表象には、様々なものがある（Lohse, Biolsi, Walker, & Rueter, 1994）。これまで、マニュアル（LeFevre & Dixon, 1986）、サンプル（Pirolli & Anderson, 1985）、図（Larkin & Simon, 1987）、グラフ（Shah, Freedman, & Vekiri, 2005）といった各外的表象に関する先行研究が行われている。一方、本研究では解決履歴という認知主体によって自己産出された外的表象をとりあげる。具体的には、図1の履歴ウィンドウに示されるような試行ごとの質問コードとCP値, CN値である。実験参加者は、分散ワーキングメモリ資源である履歴ウィンドウを外的表象として利用できる。

大塚（2003）は、本研究と同様の実験課題を用いて、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認知負荷の違いの影響を検討した。その結果、ディスプレイ上の外的表象が利用可能な場合、記憶負荷や処理負荷が低減しワーキングメモリの処理資源に余裕ができて成績が向上することが示唆された。しかし、大塚（2003）の研究では、外的表象が解決プロセスにおいて実際に利用されたのかどうか、また、いつ、どの程度利用されたのかといったことについては明らかにされていない。

本実験課題では、Cary & Carlson（1999, 2001）と同様に紙とペンといった外的表象の利用条件の設定も可能である。しかし、本研究では、外的表象の利用・非利用によって解決過程は異なるのか、外的表象はいつ、どの程度利用されるのかといった外的表象の利用そのものが解決過程と成績に及ぼす影響について検討するために、分散ワーキングメモリ資源であるディス

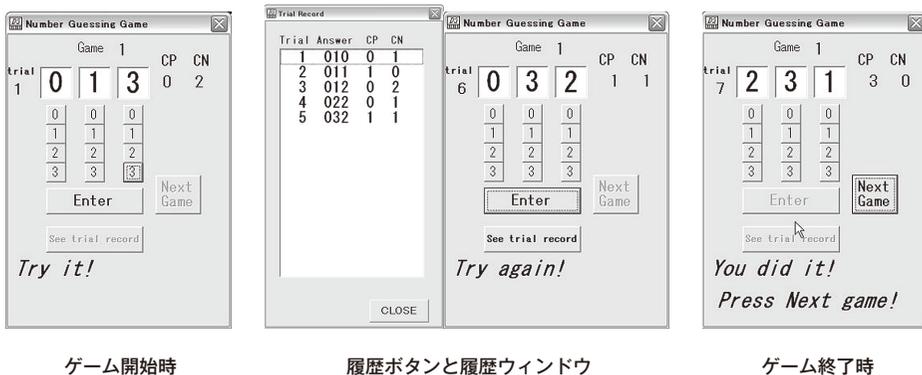


図1. 実験課題の例

プレイ上の自己産出的な解決履歴を外的表象としてとりあげる。

## 方法

**実験課題** 3桁版数当てゲーム。ゲームは、Visual Basic 6.0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。なお、反応時間の測定には、GetTickCount 関数を利用した。実験参加者はパーソナルコンピュータ (NEC MA10T) 上でゲームを行った。実験参加者は、本実験課題において1ゲーム中履歴ボタン (図1中の See trial record ボタン) をクリックすることで任意に履歴ウィンドウを参照することができた。ただし、履歴ウィンドウを開いた状態で質問コードを選択することは可能であるが、Enter ボタンをクリックし質問コードを確定することはできなかった。すなわち、実験参加者は履歴ウィンドウを閉じなければ、質問コードを確定することはできなかった。したがって、履歴ウィンドウを任意の試行で参照するためには、履歴ボタンをクリックして履歴ウィンドウを参照し、履歴ウィンドウを閉じ、Enter ボタンをクリックして質問コードを確定するという手続きが必要であった。実験参加者の試行中の履歴ウィンドウ参照回数、履歴ウィンドウ参照時間も履歴ファイル上に保存された。

**実験参加者** 実験参加者は、大学生70名 (男性40名、女性30名) で、すべての実験参加者はパーソナルコンピュータの操作に関して6ヶ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、過去にこの実験課題を行った経験のある実験参加者はいなかった。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15試行まで可能であった。15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。

**記憶スパンの測定** 記憶スパン測定のために極限法 (水野, 2004) による Digit Span, Word Span の測定を行った。刺激呈示および反応測定にはパーソナルコンピュータ (NEC MA10T) と15インチ CRT を使用し、Visual Basic 6.0によって開発された測定プログラムを利用した。なお、呈示時間の制御には、timeGetTime 関数を利用した。Digit Span の測定では最初に画面上の中央に注視点 (\*) が表示された後、ISI 30 ms, SOA 530 ms の間隔で数字1文字の刺激項目が継時的かつランダムに4項目表示された。その後、実験参加

者は表示された刺激系列を再生し回答欄に入力した。入力された刺激系列が正解であった場合、系列の項目数が1ずつ増えていき、最大で12項目の刺激系列まで測定を行った。刺激系列の再生ができなかった場合は、再度4項目の刺激系列の表示に戻った。このようにして正しく再生できた最大の刺激系列項目を5回測定し、その平均値を Digit Span とした。なお、最初の4項目の刺激系列が正しく再生できなかった場合は、その試行の Span は3とした。Word Span の測定では、刺激系列がランダムに選ばれたひらがなであり、その他の測定手続きは Digit Span と同様であった。

**手続き** 実験は20名を最大とする集団実験で行った。実験は、Digit Span → Word Span → 練習課題 → 実験課題10ゲームの順で実施された。

## 結果

各ゲームにおける外的表象利用ゲーム数の平均値は4.5, SDは3.7であり、度数分布は図2に示す通りであった。本研究の第1の目的は、問題解決における分散ワーキングメモリ資源としての外的表象の利用・非利用によって解決過程は異なるのかという点である。そこで、分析にあたり10ゲームすべてで外的表象を利用した実験参加者群 (以下、ALL 群と略す)、外的表象利用回数が1~9ゲームの実験参加者群 (以下、MIX 群と略す)、外的表象を1ゲームも利用しなかった群 (以下、NONE 群と略す) の3群に実験参加者を分類した。ALL 群は8名、MIX 群は43名、NONE 群は19名であった。

各群の各測度の平均値をまとめたものが、表1である。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10ゲームを行ったので、10ゲームの試行回数の平均値を実験参加者の試行回数とした。解決ゲーム数は、1ゲーム15試行以内で解決できたか否かという点に注目した

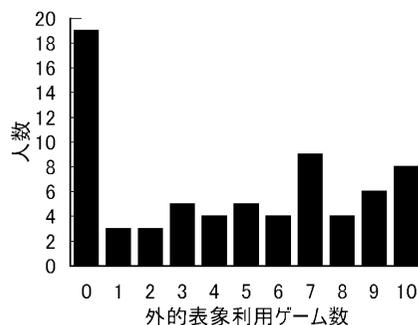


図2. 外的表象利用ゲーム数毎の人数

表 1. 各測度の平均値と標準偏差

group	NONE (n=19)		MIX (n=43)		ALL (n=8)		計 (n=70)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
DigitSpan	6.73	0.91	6.43	0.80	6.33	0.94	6.50	0.85
WordSpan	6.41	0.79	5.96	0.76	5.98	0.93	6.08	0.80
試行回数	5.96	1.56	5.30	0.97	4.75	0.59	5.42	1.17
解決数	9.74	0.56	9.91	0.37	10.00	0.00	9.87	0.41
質問コード重複回数	0.48	0.40	0.34	0.46	0.06	0.05	0.35	0.43
反応時間	5353.24	2106.23	7632.06	2537.59	7859.14	1566.45	7039.48	2530.91
外的表象参照回数	-	-	1.43	0.96	3.28	0.75	1.25	1.24
外的表象参照時間 (ms)	-	-	11644.37	6831.46	13994.41	7511.75	8752.33	7976.43
外的表象利用ゲーム数	-	-	5.53	2.48	10.00	0.00	4.54	3.67
外的表象利用開始回	-	-	3.73	2.01	2.36	0.29	2.56	2.27

測度で、実験参加者が10ゲーム中において解決できたゲーム数である。質問コード重複回数は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である。10ゲームにおける質問コード重複利用回数の平均値を実験参加者の重複利用回数とした。反応時間は、質問コードが入力可能となつてから、Enterボタンをクリックするまでの時間である、ただし履歴ウィンドウ参照時間は含まない。外的表象参照回数は、実験参加者が履歴ウィンドウを利用したゲームにおける履歴ウィンドウ利用回数の平均値である。外的表象参照時間は、外的表象である履歴ウィンドウを表示してから閉じるまでの時間である。外的表象利用開始回は、履歴ウィンドウを利用したゲームにおける履歴ウィンドウを最初に利用した試行回数である。

各群間の Digit Span ( $F(2,67) = 0.39, ns$ ), Word Span ( $F(2,67) = 2.25, ns$ ) の平均値に有意差はなかった。各群の平均試行回数について分散分析を行った結果、群の効果が有意であった ( $F(2,67) = 3.84, p < .05$ )。多重比較 (Bonferroni の方法) の結果、5%水準で有意差がみられ、ALL 群 < NONE 群であった。各群の平均解決数について分散分析を行った結果、有意差はなかった ( $F(2,67) = 1.57, ns$ )。各群の平均反応時間について分散分析を行った結果、群の効果が有意であった ( $F(2,67) = 24.91, p < .05$ )。多重比較 (Bonferroni の方法)

の結果、5%水準で有意差がみられ、ALL 群 > MIX 群、ALL 群 > NONE 群、MIX 群 > NONE 群であった。外的表象参照回数について、ALL 群と MIX 群の間で比較したところ ALL 群の外的表象参照回数の平均値は、MIX 群に比べ有意に多かった ( $t(49) = 5.13, p < .01$ )。外的表象参照時間について、ALL 群と MIX 群に有意差はなかった ( $t(49) = .88, ns$ )。外的表象利用開始回について、ALL 群と MIX 群の間で比較したところ、ALL 群の外的表象利用開始回の平均値は、MIX 群に比べ早い傾向であった ( $t(49) = 1.90, p < .10$ )。

ALL 群、MIX 群において外的表象を利用した場合の平均試行回数を図示したものが、図3である。外的表象を利用した場合の平均試行回数について、ALL 群と MIX 群の間で比較したところ ALL 群の平均試行回数の平均値は、MIX 群に比べ有意に少なかった ( $t(49) = 2.88, p < .01$ )。同様に ALL 群、MIX 群において外的表象を利用した場合の質問コード重複回数を図示したものが、図4である。外的表象を利用した場合の平均質問コード重複回数について、ALL 群と MIX 群の間で比較したところ ALL 群の平均質問コード重複回数の平均値は、MIX 群に比べ有意に少なかった ( $t(45.40) = 5.23, p < .01$ )。また、外的表象を利用した場合の平均反応時間について、ALL 群と MIX 群に有意差はなかった ( $t(49) = .16, ns$ )。

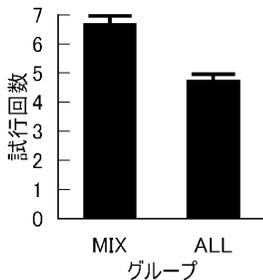


図 3. 外的表象利用時の平均試行回数 (図中のバーは標準誤差を示す)

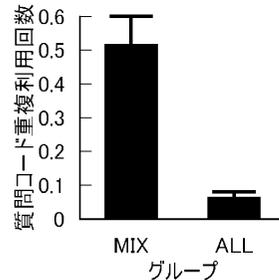


図 4. 外的表象利用時の質問コード重複回数 (図中のバーは標準誤差を示す)

## 考察

MIX 群において、外的表象の利用・非利用における試行回数の平均値を示したものが、図5である。外的表象の利用・非利用時における試行回数を比較したところ、外的表象利用時の平均試行回数は非利用時に比べ有意に多かった ( $t(42) = 10.00, p < .01$ )。同様に、MIX 群において、外的表象の利用・非利用における質問コード重複回数の平均値を示したものが、図6である。外的表象の利用・非利用時における質問コード重複回数を比較したところ、外的表象利用時の平均質問コード重複回数は非利用時に比べ有意に多かった ( $t(42) = 2.72, p < .05$ )。また、外的表象の利用・非利用時における反応時間について比較したところ、有意差はなかった ( $t(42) = 1.79, ns$ )。

さらに、ALL 群の平均試行回数 (4.75) と MIX 群 外的表象非利用時の平均試行回数 (3.71) を比較した結果、MIX 群の外的表象非利用時の平均試行回数が有意に少なく ( $t(22.71) = 3.61, p < .05$ )、成績がよかった。ALL 群の平均質問コード重複回数 (.06) と MIX 群の外的表象非利用時の平均質問コード重複回数 (.21) を比較した結果、有意差はなかった ( $t(49) = .57, ns$ )。

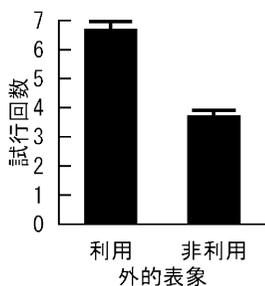


図5. MIX 群における外的表象利用・非利用時の平均試行回数 (図中のバーは標準誤差を示す)

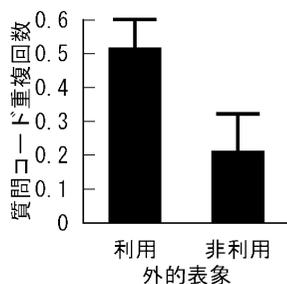


図6. MIX 群における外的表象利用・非利用時の質問コード重複回数 (図中のバーは標準誤差を示す)

本研究の目的は、問題解決において内的表象から外的表象に分散するワーキングメモリ資源における外的表象の利用・非利用によって解決過程は異なるのか、外的表象はいつ、どの程度利用されるのかといった外的表象の利用そのものが解決過程とパフォーマンスに及ぼす影響について検討することであった。そのため、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簡易な数当てゲームにおける分散ワーキングメモリ資源であるディスプレイ上の自己産出的な解決履歴を外的表象としてとりあげた。

実験の結果、外的表象の利用頻度は実験参加者によって異なっていた。認知主体によって外的表象の利用頻度は異なることを示唆する結果である。このような外的表象の利用度合いの違いによって、解決過程やパフォーマンスはどのように異なるのかについて明らかにすることは、外的表象の利用そのものが解決過程とパフォーマンスに及ぼす影響や外的表象の役割について検討するうえで重要である。そこで、本研究では外的表象の利用頻度によって、ALL 群 (10ゲームすべてにおいて外的表象を利用した実験参加者群)、MIX 群 (10ゲーム中外的表象を利用した場合と利用しなかった場合がある実験参加者群)、NONE 群 (10ゲームすべてにおいて外的表象を利用しなかった実験参加者群) に実験参加者を分類し、その後の分析を行った。

短期記憶スパン (Word Span, Digit Span) の平均値は、3群間で有意差はなかった。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概念である (Miyake, Just, & Carpenter, 1994)。本研究結果は、外的表象の利用と短期記憶スパンは関連がないことを示唆するものであり、本実験課題における外的表象の利用がワーキングメモリ資源の記憶成分のみに関連する方略ではないことを示唆するものである。問題解決における分散ワーキングメモリ資源について検討した先行研究 (Cary & Carlson, 1999, 2001; Carlson, Sullivan, & Schneider, 1989) では、外的表象の利用とワーキングメモリの短期記憶成分に関して検討されたものはなく、外的表象の利用とワーキングメモリの短期記憶成分との関連について今後のさらなる検討が必要である。

試行回数は、実験参加者が1ゲーム中に正解コードに至るまでの回数である。この測度は、実験参加者が分散するワーキングメモリ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尺度である。分析の結果、ALL群はNONE群に比べ有意に試行回数が少なかった。MIX群と他の2群間に試行回数の有意差はなかった。この結果は、ALL群の実験参加者の成績が他の2群に比べ最も優れていたことを示すものである。ALL群の実験参加者は、内的から外的にわたる分散ワーキングメモリ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ものである。また、すべてのゲームで外的表象を利用することが解決過程に有効に働いたことを示す結果であり、ALL群と他の2群と解決過程においてどのような差異があったのかについて、他の尺度をもとに以下に検討を行う。

解決数は、実験課題10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尺度である。解決数については、群間で有意差はなかった。3群の平均解決数は9.87であり、1ゲーム15試行以内ではほぼすべてのゲームにおいて、実験参加者は正解を得ていたことを示すものである。本実験課題が、適切な難易度であったことを示す結果である。

反応時間はすべての群間で有意差があり、ALL群、MIX群、NONE群の順に長かった。ALL群、MIX群の実験参加者は、外的表象を利用することで手がかり情報の保持のためのワーキングメモリ資源を補償し、推論のための反応時間を長くとることができていたと思われる。一方、NONE群の実験参加者は、反応時間は最も短く、試行回数も多く本実験課題のパフォーマンスが悪いという結果であった。NONE群の実験参加者は、外的表象を利用しないために、手がかりの情報の保持と推論の間のワーキングメモリ資源のトレードオフ(Miyake, 1994)が発生し、推論のための反応時間が十分に確保できずパフォーマンスが低下したと推測される。

ALL群、MIX群における外的表象の利用について分析した結果、ALL群は外的表象利用回数が有意に多く、外的表象利用開始回もMIX群に比べ早い傾向であった。ALL群はMIX群に比べ外的表象をゲームの早い時期からより頻繁に利用していたと考えられる。

ALL群とMIX群間で外的表象の利用効果は異なるのかを検討するために、MIX群で外的表象を利用しているゲームのみのパフォーマンスとALL群のパフォーマンスを比較した結果、ALL群の実験参加者は、MIX群の実験参加者で外的表象を利用した場合に比べ有意に試行回数が少なく(図3)、重複回数も有意に少なかった(図4)。この結果は、ALL群とMIX群では外的表象利用による影響が異なっていた

ことを示唆する結果である。ALL群の実験参加者はすべてのゲームで外的表象を利用し、外的表象の利用回数も多く、ゲーム中早い段階から外的表象を利用する傾向があった。

実際に外的表象を利用することがパフォーマンスの向上に役立ったのかを検討するために、MIX群の実験参加者における外的表象利用・非利用時ごとのパフォーマンスを分析した。その結果、MIX群の外的表象利用時の試行回数は非利用時に比べ有意に多く(図5)、質問コード重複回数も非利用時に比べ有意に多く(図6)、成績が悪かった。これらの結果から、MIX群の実験参加者においては、外的表象の利用はパフォーマンスの向上に役立っていなかったと考えられる。一方、ALL群の実験参加者はMIX群の実験参加者に比べ、外的表象を頻繁に利用し成績がよかった。本実験課題では、分散ワーキングメモリ資源である解決履歴という外的表象を適切に利用することが、成績の向上に役立ったことを示唆する結果である。

一方、MIX群外的表象非利用時の平均試行回数は、ALL群の平均試行回数に比べ成績がよかった。この結果は、本実験課題において、MIX群の外的表象非利用時が最もパフォーマンスがよかったことを示すものである。MIX群の実験参加者は、内的なワーキングメモリ資源のみで解決できず、手がかり情報の保持が困難に陥った場合に、補償的方略(Eysenck & Calvo, 1992)として外的表象を利用していたと推測される。一方、ALL群の実験参加者は、ゲーム開始時より、ワーキングメモリ資源を外的なディスプレイ上の外的表象から内的なワーキングメモリ資源へと分散し、外的表象を利用する解決方略を利用していたと推測される。

内的なワーキングメモリ資源のみを利用する問題解決方略を用いるか、外的表象を利用する解決方略を用いるかといった認知主体による方略の選択は、問題解決事態で利用する方略の費用対効果に影響され、問題解決者は解決事態にもっとも適切な方略を利用する傾向がある(Christensen-Szalanski, 1978)。例えば、紙とペンを利用して計算課題を解く場合は、課題の概念構造に沿った算法を利用するが、紙やペンを利用できない場合は、ワーキングメモリへの記憶負荷がもっとも少なくなるような方略が利用される(Cary & Carlson, 1999)。MIX群の実験参加者は、外的表象を利用しないで解決できた場合は、自身のワーキングメモリ資源の制約内で遂行できる方略の利用が可能であった。しかし、解決途中でワーキングメモリ資源の制約により記憶負荷が増大した場合にアドホックに外的表象を利用していたと考えられる。

一般に、内的に情報をコード化して保持するよりも外的に情報をコード化して保持する方が、心的努力が必要である (Ericsson & Simon, 1980)。内的あるいは外的表象のどちらを利用するのかは、現在進行中の解決過程との継続的な各表象との協調や情報の検索に必要とされる心的努力の必要性によって変化してくる。例えば、必要な情報が内的なりハーサルループに保持されている場合、リハーサルすべき項目を外的表象から検索することは時間と努力の無駄である (Carlson et al., 1989)。本研究においても、各群の実験参加者における解決過程や利用方略の違いが、各群間で外的表象の利用頻度やその効果の違いと関連していたと考えられる。

問題解決において外的表象は下位問題の解決に必要な手がかり情報の保持に利用される (Cary & Carlson, 1999)。本実験課題では解決履歴によって、下位問題の解決にいたる手がかり情報が推論可能である (大塚, 2003)。本研究では、問題解決におけるこのような外的表象の利用は、問題解決者のワーキングメモリをサポートするものであることが先行研究 (Cary & Carlson, 1999, 2001) と同様に実証された。

一方、内的なワーキングメモリ資源を利用する方略が、手がかり情報の保持において有効であり、より信頼をおけるものになると、我々は情報の保持や処理に外的資源をあまり利用しなくなっていく (Cary & Carlson, 2001)。また、外的資源を利用することにより心的努力が必要とされる場合には、我々はあまり外的資源を利用しなくなっていく (Cary & Carlson, 2001)。本研究結果は、このような問題解決における外的表象の利用に関する様々な形態を実証したものであり、外的表象の利用形態や利用効果の個人差を実証的に示唆することができた。

内的から外的な資源にわたるワーキングメモリの分散は、内的なワーキングメモリ資源のみを利用する場合に比べ付加的なオーバーヘッド (間接的なコスト) が必要となってくる。すなわち、ワーキングメモリ資源や利用方略に関するメタ認知的プロセスが必要となる。解決者は、問題の内容、規則、解決に必要な情報等をワーキングメモリで操作するうえで外的表象を利用する。また、外的表象を利用することが、どのような解決方略を課題に適用するのかを決定するうえでも影響を及ぼす。このような点については、今後利用方略の違いを実験条件とした検討や外的表象の種類を実験条件とした検討が必要である。

また、ワーキングメモリ容量には大きな個人差があり、その影響を考慮することも重要である (Miyake, 2001)。このような、ワーキングメモリ容量個人差や方

略知識といった問題と問題解決における分散ワーキングメモリ資源の関連についても今後の検討課題である。

## 【引用文献】

- Carlson, R. A. (1997). *Experienced cognition*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Carlson, R. A., Sullivan, M. A., & Schneider, W. (1989). Practice and working memory effects in building procedural skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 15, 517-526.
- Carlson, R. A., Wenger, J. L., & Sullivan, M. A. (1993). Coordinating information from perception and working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 531-548.
- Cary, M., & Carlson, R. A. (1999). External support and the development of problem-solving routines. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 25, 1053-1070.
- Cary, M., & Carlson, R. A. (2001). Distributing working memory resources in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 27, 836-848.
- Christensen-Szalanski, J. J. J. (1978). Problem solving strategies: A selection mechanism, some implications, and some data. *Organizational Behavior and Human Performance*, 22, 307-323.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal reports as data. *Psychological Review*, 87, 215-251.
- Eysenck, M. W., & Calvo, M. G. (1992). Anxiety and performance: The processing efficiency theory. *Cognition and Emotion*, 6, 409-434.
- Intons-Peterson, M. J., & Fournier, J. (1986). External and internal memory aids: When and how do we use them? *Journal of Experimental Psychology: General*, 115, 276-280.
- Larkin, J. H. (1989). Display-based problem solving. In D. Klar & K. Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: The impact of Herbert A. Simon*. NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp.319-341.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11, 65-99.
- LeFevre, J., & Dixon, P. (1986). Do written instructions need examples? *Cognition and Instruction*, 3, 1-30.
- Lohse G. L., Biolsi, K., Walker, N., & Rueter, H. (1994).

- A classification of visual representations. *Communications of the ACM*, **37**(12), 36-49.
- 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.
- Miyake, A. (2001). Individual differences in working memory: Introduction to the special section. *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 163-168.
- 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.
- 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.
- 水野りか (2004). Web を介してできる基礎・認知心理学実験演習 ナカニシヤ出版.
- 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.
- Pirolli, P. L., & Anderson, J. R. (1985). The role of learning from examples in the acquisition of recursive programming skills. *Canadian Journal of Psychology*, **39**, 240-272.
- Schönpflug, W. (1986). The trade-off between internal and external information storage. *Journal of Memory and Language*, **25**, 657-675.
- Shah, P., Freedman, E., & Vekiri, I. (2005). The comprehension of quantitative information in graphical displays. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*. New York: Cambridge University Press. pp.426-476.
- 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.
- Zhang, J. (1997). The nature of external representations in problem solving. *Cognitive Science*, **21**, 179-217.
- Zhang, J., & Norman, D. A. (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science*, **18**, 87-122.