

問題解決におけるワーキングメモリ容量制約を補償する方略の検討

大塚一徳・宮谷真人

Compensatory problem solving strategy for improving working memory constraints

Kazunori Otsuka and Makoto Miyatani

A compensatory strategy for improving working memory (WM) constraints that are experienced when playing a simplified version of Mastermind was investigated. Formal analysis suggested two feasible play strategies: focusing and tactical. Although the focusing strategy was expected to cause lower WM load and was predicted to compensate for WM constraints, it was considered to be theoretically less efficient than the tactical strategy, which was considered to be theoretically more efficient, but was expected to cause higher WM load. The performance of 45 junior college student participants who were induced to use the two strategies was assessed in Experiment 1. The WM level of all participants as measured by the Reading Span Test indicated a low span. Results indicated that the focusing strategy was more effective than the tactical strategy. In Experiment 2, 10 college student participants increased their spontaneous use of the focusing strategy. These results suggest that the focusing strategy compensates for WM constraints of participants with a low span. The effects of the compensatory strategy for WM constraints in problem solving are discussed.

キーワード：問題解決，ワーキングメモリ，補償的方略，RST，Mastermind 課題

問題

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をワーキングメモリという (Baddeley, 1986; Just & Carpenter, 1992)。ワーキングメモリは、言語処理や推論など、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 (荻阪・荻阪, 1994)。本研究は、問題解決において利用する解決方略 (以下、方略と略す) による記憶負荷とワーキングメモリの関連について検討することを目的とする。

問題解決において、初期状態 (initial state)、目標状態 (goal state)、操作子 (operator) 及び操作子制約条件 (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)。本研究では、このような良定義問題の問題解決について検討する。

ワーキングメモリと方略

良定義問題における解決過程において、目標状態に到達するための探索過程は利用する方略によって異なる。一般に、良定義問題においてどのような方略を利用するかは、問題解決過程に影響する重要な要因と考えられる (Anderson, 1993)。利用される方略は、解決者の問題に関する領域固有の知識や方略知識、あるいはワーキングメモリ容量といった内的資源、または課題の難易度や利用可能な筆記具や図といった外的資源などによって異なってくる (Cary & Carlson, 2001)。問題解決において外的資源の利用が制限されている場合、我々のワーキングメモリの処理資源には制限があるため利用する方略によって記憶負荷は異なると考えられる。

ワーキングメモリ課題のような情報の処理と保持の並列的な操作が必要な二重課題状況においても、情報を操作するためにどのような方略を利用するかは、課題の遂行に大きな影響を及ぼす重要な要因である (Hambrick, Kane, & Engle, 2005)。例えば、McNamara & Scott (2001) は、リーディングスパン・テスト (reading span test: 以下 RST) においてターゲット語を記銘するための記憶方略を実験参加者に訓練することによって、成績が向上することを報告している。また、Turley-Ames & Whitfield (2003) の研究では、オペレーションスパン・テスト (operation span test: 以下 OST) における記憶方略訓練の効果を検討した結果、低スパン群のみに記憶方略訓練の効果がみられた。これらの研究で記憶方略訓練の効果がみられたのは、ターゲット語を記銘するために特定の記憶方略を用いることにより課題遂行中の記憶負荷が低減し、ワーキングメモリの処理資源を効率的に利用できるようになったためであると考えられる。このようなワーキングメモリ課題における記憶方略は、記憶負荷を低減しワーキングメモリの処理資源を補償する補償的方略 (compensatory strategy) と考えられる (中條・中尾, 2005; Hasher & Zacks, 1988)。

ワーキングメモリ課題と同様に、情報の処理と保持の並列的な処理が必要な問題解決課題においても記憶負荷を低減するような方略の利用は課題の遂行に影響を及ぼすと考えられる。例えば、問題解決においてワーキングメモリ容量の制約による成績低下を回避するために、何らかの補償的方略を利用することが有効である場合も考えられる。しかし、一般に問題解決において記憶負荷を低減するような方略の利用が、問題空間において論理的な解にいたるまでの最適かつ最短の経路を保証するものではない。認知主体の記憶負荷を低減するための補償的方略は、一度に操作する情報量を少なくすることによって記憶負荷の低減には貢献すると予想される。ただし、補償的方略を利用することで問題空間の探索回数は多くなり、結果として成績が悪化することも予想される。一方、論理的には最適な方略であり問題空間の最適な探索経路をとるための戦術的方略は、認知主体にとっては記憶負荷の高い方略である場合が多い。したがって、戦術的方略は論理的には最適な方略であるが我々のワーキングメモリ容量の制約から完全に実施することが困難であり、結果として成績

の低下につながるかもしれない。

また、ワーキングメモリ容量には個人差があるので、ある特定の方略における記憶負荷の低減効果は、認知主体によって異なると考えられる。さらに、問題空間の最適な探索過程をとるための戦術の方略ではあるが記憶負荷の高い方略と、問題解決のための最短経路をとる方略ではないが記憶負荷を軽減する補償の方略は、ワーキングメモリの処理資源容量が一定であると仮定した場合、遂行結果にどのような影響を及ぼすのかについては Figure 1 に示すようなパターンが想定される。

Figure 1 の A のパターンは、戦術の方略を利用した場合に補償の方略を利用した場合よりも成績が向上するというパターンである。この問題解決においては、戦術の方略の利用は有効であり成績は向上し、補償の方略利用時には問題空間の探索回数の増加から成績の悪化につながる。B のパターンは戦術的な方略を利用した場合も補償の方略を利用した場合も、成績に差はみられないというパターンである。このパターンでは、戦術方略を利用した場合の記憶負荷に

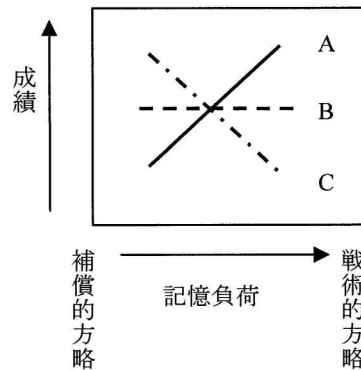


Figure 1. 問題解決における方略の影響

よる影響や補償の方略を利用した場合における問題空間の探索回数の増加といった影響によって、成績に差がみられない。C のパターンは、補償の方略を利用した場合が戦術の方略を利用した場合よりも成績が向上するというパターンである。この問題解決においては、補償の方略利用時には記憶負荷が補償され、戦術の方略利用時よりも成績が向上する。この場合、戦術方略利用時は記憶負荷の増加によって成績の悪化につながると想定される。

大塚(2003)は、簡易版 Mastermind 課題(Laughlin, Lange, & Adamopoulos, 1982)という色当てゲーム課題の解決過程と日本語版 RST(荻阪・荻阪, 1994)で測定したリーディングスパン(スパン)の個人差について検討した。その結果、実験参加者が記憶負荷の大きい条件で記憶負荷の高い方略を利用した場合、スパン得点の個人差の影響が顕著にみられた。この結果は、問題解決において記憶負荷の高い方略を利用した場合にワーキングメモリ容量個人差の影響がみられることを示唆する結果である。しかし、この研究では記憶負荷の低い方略を利用した場合の解決過程との比較は行っていないために、記憶負荷の高い方略と低い方略では解決過程や成績がどのように異なるのかについては検討されていない。この点を検討するためには、同一課題において記憶負荷の異なる2つの方略の解決過程を検討する必要がある。また、特定の方略を利用することによって生じる記憶負荷の差異はワーキングメモリ資源ではなく、単に実験参加者の短期記憶(保持)成分の個人差を反映していたのかもしれない。この点を検討するためには、実験参加者の短期記憶スパンを検討する必要がある。

Mastermind 課題

問題解決における記憶負荷と方略及びワーキングメモリ容量個人差を検討するためには、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実験課題が必要である。さらに、その課題は方略と記憶負荷の関連が論理的に分析可能でなければいけない。このような実験課題として、本研究では大塚(2003)と同様の簡易版 Mastermind 課題を利用する。

本研究で実験課題として用いる簡易版 Mastermind 課題は、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の簡易版である。実験課題で使用した簡易版 Mastermind 課題は数字の代わりに色(R: 赤, G: 緑, Y: 黄)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、実験参加者があげるものを質問コードと呼ぶ。本研究では、3色から4個をとる4桁版 Mastermind 課題を用いた。この実験課題の正解コード数は、81個であり、Laughlin et al.(1982)で用いられた課題と同じである。Figure 2は4桁版 Mastermind 課題について例示したもので、正解コードはYGGRである。正解コードと質問コードを比較し、両方のコードにも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 2のように4桁版 Mastermind 課題では cp, cc 値が 4, 0 で終了する。

Laughlin et al.(1982)は、本実験課題の問題空間及び方略の分析を行い、主な方略として焦点(focusing)方略と戦術(tactical)方略をあげている。焦点方略は、まず色を示す文字という属性に焦点を当て、正解にはどの文字が含まれるかについて推論を進めていき、第1試行目はYYYY, RRRRといったすべて同一文字の質問コードパターンとなる。この方略は、質問コードとフィードバック情報によって導かれる解の候補集合がもっとも少なくなり記憶負荷が少ない方略である。しかし、質問コードとフィードバック情報から導かれる解の候補集合から次の質問コードを任意に選択するという論理的な解法をとった場合もっとも効率が悪くなり成績は悪くなる。すなわち焦点方略は、記憶負荷を補償する方略と考えられ、補償的方略である。戦術方略は、解決のためにもっとも情報量が多くなるような質問を行うという方略で、第1試行目がYRGG, YGRGといった3色すべてを利用する質問コードパターンで始める場合である。この方略は論理的な解法をとった場合もっとも効率はよいが、質問コードとフィードバック情報によって導かれる解の候補集合がもっとも多くなり記憶負荷はもっとも高くなる。すなわちこの方略は、記憶負荷は高くなるが論理的に有効な方略であり、戦術的方略である。

この課題は実験参加者が第1試行目でどのような質問コードを利用するかによって、課題の実験参加者に対する記憶負荷は論理的に決定される(奥田・大塚・井上, 1995)。したがって、第1試行目の質問コードによって、同一文字の質問コードパターンであれば焦点方略、3文字すべてを利用

ゲーム開始：入力して下さい

step	guess	cp	cc	lgame
1	RRGY	1	2	
2	YRYG	1	2	
3	YGGY	3	0	
4	YGGG	3	0	
5	YGGR	4	0	

Figure 2. 4桁版 Mastermind 課題のプレー内容

していれば戦術方略と利用方略を同定できる (Laughlin et al., 1982)。このように本実験課題は、方略による記憶負荷の違いが論理的に分析されておりかつ方略の同定が可能である。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、本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)。そのために、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。このような特徴から、本実験課題は、問題解決における方略による記憶負荷とワーキングメモリの関連に関して、他の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。

Laughlin et al. (1982) の研究では、本研究と同一の課題で実験参加者が任意の方略を利用可能な実験条件において、焦点方略を利用した場合が戦術方略を利用した場合に比べ正解コードにいたるまでの試行回数が少なく成績がよかった。一方、実験参加者に強制的に焦点方略と戦術方略を利用させた場合、焦点方略利用条件と戦術方略利用条件間の成績に有意差はなかった。このように、彼らの研究では本実験課題における記憶負荷の異なる方略に関して一貫した結果は得られていない。本実験課題の解決過程は、スパン得点の個人差との関連もある(大塚, 2003) ことから、ワーキングメモリ容量の個人差を考慮した分析が必要である。しかし、彼らの研究ではワーキングメモリ容量の個人差といった実験参加者の処理資源は考慮されていない。実験参加者のワーキングメモリ容量の個人差によって方略による記憶負荷は異なるので、実験参加者によって焦点方略と戦術方略による記憶負荷の程度は異なっていたと推測され、上記のような方略利用時の一貫しない結果が示されたのかもしれない。

また、彼らの実験課題では1ゲーム中の質問コードとフィードバック情報といった履歴情報は、すべてコンピュータディスプレイ上で閲覧可能であった。本実験課題におけるディスプレイ上のこのような履歴情報は、外的な手がかり情報として有効(大塚, 2003) である。履歴情報という外的な記憶補助によって、方略利用時の記憶負荷は減じられていたのかもしれない。このような記憶負荷の異なる方略の問題解決に及ぼす影響を検討するためには、解決のために必要な情報の保持とその処理が遂行されるワーキングメモリ容量の個人差を考慮した検討が必要である。また、問題解決過程とワーキングメモリ容量との関連を検討するうえでは、課題が要求する情報の保持と処理の量が多ければ多いほど、ワーキングメモリ容量の差がより顕著にあらわれる(Miyake, 1994)。そこで、履歴情報といった外的な記憶補助が利用できないようにし、課題が要求する情報の保持と処理の量を多くすることで方略による記憶負荷の影響を検討することが必要である。

Raven テストとワーキングメモリ

RSTやOSTといったワーキングメモリ課題の得点と流動性知能(fluid intelligence)の測度として測定される Raven's Progressive Matrices (Raven, Court, & Raven, 1977: 以下 Raven テスト)の得点の間に相関があることが、これまで多くの研究で報告されている(Ackerman, Beier, & Boyle, 2002; Conway, Cowan, Bunting, Therriault, & Minkoff, 2002; Engle, Tuholski, Laughlin, & Conway, 1999; Kane, Hambrick,

Tuholski, Wilhelm, Payne, & Engle, 2004; Kyllonen & Christal, 1990; Unsworth & Engle, 2005)。Raven テストは、幾何学図形を操作して推論する形式のテストで特定の言語に依存することなく実施可能なテストである。また、OST の得点と Raven テストの得点及び RST の得点と Raven テストの得点との相関はともに 0.30 程度であることが報告されている (Conway et al., 2002; Engle et al., 1999; Kane et al., 2004)。

このような、Raven テストの得点とワーキングメモリ課題との相関について、Carpenter, Just, & Shell (1990) は、ワーキングメモリでいかに多くの処理と保持を行うことができるかというワーキングメモリの処理容量の観点から検討を行った。Raven テストとハノイの塔課題における記憶負荷の高い方略である再帰方略利用時の解決過程の関連が検討された結果、Raven テストの誤反応とハノイの塔課題における再帰方略利用時の誤反応に高い相関 ($r(43)=.77, p<.01$) があった (Carpenter et al., 1990)。Carpenter et al. (1990) は、Raven テストの処理過程は、解決のために下位目標を生成しその解決結果を保持し既存の下位目標の解決結果をもとにさらに新たな下位目標を生成する、といった一連の解決手順をワーキングメモリで適切に処理する能力の個人差を反映していることを示唆している。ハノイの塔課題における再帰方略利用時の解決過程と Raven テストとのこのような高い相関からも、Raven テストとワーキングメモリにおける問題解決のために必要な情報の生成と保持との関連が予想される。

実験 1

目的

実験 1 では Laughlin et al. (1982) と同じ実験課題を利用し、記憶負荷の異なる方略として焦点方略と戦術方略をとりあげ、両方略利用時の解決過程とワーキングメモリ容量による制約との関連について検討する。本実験では、ワーキングメモリ容量の個人差を統制し、外的な記憶補助の利用を制限する。したがって、Laughlin et al. (1982) よりも記憶負荷の統制を厳密に行った実験条件の設定となる。このような実験条件において、Figure 1 に示される 3 つのパターンのどのパターンが示されるのかについて検討することが本研究の目的である。

ワーキングメモリ課題の成績と Raven テストとの間の相関や問題解決過程と Raven テストの解決過程との関連が過去の研究では報告されている。そこで本研究においても、Raven テストの得点と焦点方略、戦術方略利用時の問題解決過程との相関について検討する。Carpenter et al. (1990) の研究では、記憶負荷の高い方略利用時の解決過程の誤反応と Raven テストとの間に負の相関がみられた。そこで、本研究の実験課題における問題解決過程と Raven テストの得点間に相関がみられるのかについても検討する。

大塚 (2003) の研究では、本実験課題の解決過程とリーディングスパン個人差の関連が検討され、本実験課題の解決過程とスパン得点個人差の関連が指摘されている。したがって、本研究では日本語版 RST (荻阪・荻阪, 1994) によって実験参加者のスパン得点を測定する。また、方略による記憶負荷の影響と短期記憶との関連を検討するために、数字記憶範囲を測定する。

方法

実験参加者 短期大学生 45 名(男性 20 名, 女性 25 名), 平均年齢 20.1 歳(範囲: 19—21 歳)。すべての実験参加者はパソコンの操作に関して 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, 過去にこのゲームを行った経験のある実験参加者はいなかった。

実験計画 スパン×方略の混合計画。第 1 要因は実験参加者間配置で, 後述する方法で高, 低の 2 群に分けた。第 2 要因は実験参加者内配置で, 焦点方略条件, 戦術方略条件の 2 条件。

実験課題 4 桁版 Mastermind 課題。本実験課題は, 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, 焦点方略条件では各ゲームにおける第 1 試行目の質問コードをすべて同一文字の質問コードパターンでのみ開始することが可能であった。一方, 戦術方略条件では実験参加者は, 第 1 試行目の質問コードをすべての文字を用いた質問コードパターンでのみ開始することが可能であった。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のみがディスプレイ上で参照可能であった。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 RST は, 日本語版 RST(苧阪・苧阪, 1994)が用いられた。実施方法も, 苧阪・苧阪(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。

数字記憶範囲 12 個の 2 桁数字を 5 秒につき 1 数字の間隔で聴覚提示し, 記銘と再生を行わせた。2 桁数字は, 乱数系列よりランダムに発生させたものを利用した。3 試行実施し, 3 試行の平均を各実験参加者の数字記憶範囲とした。

Raven テスト Advanced Progressive Matrices, Set I・II (Raven, 1994)を利用した。Raven テストは, 問題用紙 1 枚につき 1 問で 36 問からなる抽象的推論能力を測定するためのテストであり, 1 問目から順次難易度が高くなる。各問いでは, 問題用紙上半分に 3×3 の格子状に異なる幾何学図形が 1 つのセットとして 8 つ並べられており, 右下部分が空白となっている。実験参加者は, 右下空白部分に入る適切な幾何学図形を問題用紙下半分にある 8 つの幾何学図形の選択肢欄から選ばなければならない。また実験参加者は, 30 分の回答時間内にできるだけ多くの問題を解かなければならない。実験参加者の得点は, 正答数の合計である。

手続き まず実験参加者に対して, RST が行われた。次に, ランダムに振り分けられた 22 名の実験参加者は焦点方略条件→戦術方略条件の順で実験課題各 10 ゲームを行った。残りの 23 名の実験参加者は逆の順序で行った。後日, 実験参加者は, Raven テストと数字記憶範囲課題を行った。

結果

RST スパンの平均値は 2.1, 最大値は 2.5, 最小値は 2.0 であった。標準偏差(SD)は 0.2, 総再生数の平均値は 43.0, SD は 6.8 であった。スパン得点 2.5 以下の実験参加者は, 一般に低スパン群として分類される(Caplan & Waters, 1999)。本実験では, スパン得点に示されるワーキングメモリ容量

が低スパン群のみの実験参加者であった。Nishizaki & Osaka(2006)は、二重課題状況で低スパン群に分類される実験参加者間においても、特定の認知課題における成績が異なることを示唆している。そこで、本研究では RST における総再生数をもとに、低スパン群における高総再生数群 (high-total-words group: 以下 H-group) と低総再生数群 (low-total-words group: 以下 L-group) に分類した。通常、ワーキングメモリスパン課題の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)。そこで、本実験においても、総再生数上位 25% の実験参加者 11 名を H-group に、総再生数下位 25% の実験参加者 11 名を L-group に振り分けた。H-group の総再生数の平均値は 51.4, *SD* は 3.9 であり、L-group の総再生数の平均値は 34.7, *SD* は 4.1 であった。

数字記憶範囲 数字記憶範囲の平均値は 6.2, *SD* は 1.6 であった。H-group の数字記憶範囲の平均値は 6.4, *SD* は 1.7 であった。L-group の数字記憶範囲の平均値は 5.6, *SD* は 1.5 であった。H-group と L-group 間の数字記憶範囲の平均値に有意差はなかった ($t(20)=1.17, ns$)。

Raven テスト Raven テストの平均値は 22.3, *SD* は 5.4 であった。

実験課題の測度 本実験課題の解決過程を分析するにあたり、試行回数、解決ゲーム数、質問コード重複利用回数の 3 つの測度を用いた。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。実験参加者は各条件で 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その条件における試行回数とした。解決ゲーム数は、実験参加者が各条件 10 ゲーム中において解決できたゲーム数である。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、実験参加者の成績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。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。実験参加者の各条件 10 ゲームにおける重複利用回数の平均値を、その条件における重複利用回数とした。試行回数、解決ゲーム数、質問コード重複利用回数に関する各群条件の平均値を示したものが、Table 1 である。

Table 1

実験 1 の各条件の試行回数・解決ゲーム数・質問コード重複利用回数の平均値 (標準偏差)

方略条件	試行回数		解決ゲーム数		重複回数	
	H-group	L-group	H-group	L-group	H-group	L-group
焦点方略	6.28 (1.24)	7.22 (1.50)	7.82 (2.09)	6.27 (2.65)	0.34 (0.39)	0.82 (0.82)
戦術方略	7.49 (1.15)	8.07 (0.80)	5.82 (2.68)	4.55 (1.92)	0.75 (0.54)	1.26 (0.84)

注：H-group $N=11$, L-group $N=11$.

試行回数 平均試行回数に対し、スパン要因×方略要因の2要因分散分析を行った結果、方略要因の主効果が有意($F(1,20)=26.44, p<.001$)であり、焦点方略条件の平均試行回数が戦術方略条件の平均試行回数より有意に少なかった。スパン要因は、有意でなかった($F(1,20)=2.62, ns$)。2要因の交互作用は、有意でなかった($F(1,20)=0.78, ns$)。

解決ゲーム数 平均解決ゲーム数に対し、スパン要因×方略要因の2要因分散分析を行った結果、方略要因の主効果が有意($F(1,20)=24.58, p<.001$)であり、焦点方略条件の解決数が戦術方略条件の解決数より有意に多かった。スパン要因は、有意でなかった($F(1,20)=2.29, ns$)。2要因の交互作用は、有意でなかった($F(1,20)=0.13, ns$)。

質問コード重複利用回数 質問コードの平均重複利用回数に対し、スパン要因×方略要因の2要因分散分析を行った結果、方略要因の主効果が有意($F(1,20)=28.52, p<.001$)であり、焦点方略条件の平均重複利用回数が戦術方略条件の重複利用回数より有意に少なかった。スパン要因は、有意傾向であり($F(1,20)=3.28, p<.10$)、H-groupの平均重複利用回数は、L-groupに比べ有意に少ない傾向があった。2要因の交互作用は、有意でなかった($F(1,20)=0.05, ns$)。

Table 2
各測度間の相関係数(Pearsonの r , $N=45$)

測度	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. RST 総再生数	—	.33 *	.11	-.14	-.05	.16	.04	-.22	-.08
2. Raven テスト		—	.32 *	-.45 **	-.31 *	.42 **	.33 *	-.35 *	-.31 *
3. 数字記憶範囲			—	-.32 *	-.24	.23	.14	-.09	-.09
4. 焦点方略試行回数				—	.65 **	-.92 **	-.62 **	.77 **	.62 **
5. 戦術方略試行回数					—	-.65 **	-.90 **	.56 **	.79 **
6. 焦点方略解決ゲーム数						—	.61 **	-.81 **	-.63 **
7. 戦略方略解決ゲーム数							—	-.54 **	-.77 **
8. 焦点方略重複回数								—	.74 **
9. 戦略方略重複回数									—

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

Raven テストとの相関 Raven テストと他の測度間の相関をまとめたものが、Table 2である。Raven テストは他のすべての測度と相関があり、Raven テストの得点が高いほど本実験課題の成績もすぐれていた。Hotellingの式(岩原,1965)によって、Raven テストの得点と各方略条件試行回数との間の2つの相関($t(42)=-0.37, ns$)、解決数との間の2つの相関($t(42)=0.73, ns$)、重複回数との間の2つの相関($t(42)=-1.25, ns$)の有意差について検定した結果、有意差はなかった。

考察

本実験結果は、RSTの結果からは低スパン群に分類される実験参加者において記憶負荷の高い戦術方略利用時に成績の低下がみられたことを示すものであり、Figure 1のCパターンが示された。戦術方略利用時は焦点方略利用時に比べて、ワーキングメモリ容量の制約から効率的な推論や手がかかり情報の保持が困難であったと考えられる。一方、焦点方略は実験参加者のワーキングメモリへの記憶負荷を補償し、戦術方略利用時に比べ成績が向上したと考えられる。問題解決において、利用方略によってもワーキングメモリ資源の効率的な利用や分配に影響を与えることを示唆する結果である。

本実験と同じ課題における焦点方略と戦術方略利用時の試行回数を比較した Laughlin et al. (1982)の実験では、両条件間で試行回数に有意差はなく本実験結果と矛盾する結果であった。本実験では実験参加者のワーキングメモリ容量は、スパン得点が2.0もしくは2.5の低スパン群に一般に分類される範囲であった。しかし、Laughlin et al. (1982)の研究では、実験参加者のワーキングメモリ容量は考慮されていない。したがって、彼らの実験においては、利用方略による記憶負荷は実験参加者に一様ではなかった可能性がある。この点が、本実験とは異なり利用方略による記憶負荷の影響がみられなかった原因の1つと考えられる。また、本実験では実験課題において、1ゲーム中の質問コードとフィードバック情報は直前のものしか閲覧できなかった。しかし、Laughlin et al. (1982)の実験では1ゲーム中のこれらの情報はすべて閲覧可能であり、本実験課題と同型の課題でありながら課題の記憶負荷は少なくなっていた。したがって、本実験課題が要求する情報の処理と保持の量は彼らの実験課題に比べ多くなり、方略の記憶負荷によるワーキングメモリ容量による制約の影響が顕著にあらわれたと考えられる。

Raven テストの得点は、ワーキングメモリにおける問題解決のために必要な情報の生成と保持に関連している (Carpenter et al., 1990)。本実験における Raven テストの得点と実験課題の成績との相関は、低スパン群においてもワーキングメモリ容量の制約による解決過程への影響は個人差があることを示唆する結果である。ただし、焦点方略条件、戦術方略条件両条件下の成績と Raven テストの得点との相関係数に有意差はなかった。方略による記憶負荷の違いと Raven テストの得点との関連については、今後の検討課題である。

短期記憶の測度である数字記憶範囲の平均値は、H-group と L-group 間で有意差はなかった。重複試行回数における H-group と L-group 間の有意差傾向は、実験参加者の短期記憶成分によるものではなかったことが示唆される。一方、数字記憶範囲は焦点方略条件の試行回数のみと負の相関がみられた。この結果は焦点方略を利用する際に、実験参加者の短期記憶成分が解決過程に影響していたことを示唆する結果である。

実験1では、実験参加者の解決方略の利用は実験的に統制されたものであった。したがって、実験参加者が任意にどのような方略を利用するのかについては検討されていない。実験2では、実験1のように方略の利用が実験的に統制されていない場面における方略の利用について検討を行う。

実験 2

目的

Laughlin et al.(1982)の研究では、任意に方略を選択できる場合、実験参加者の焦点方略と戦術方略の利用頻度に有意差はなかった。この結果は、方略の記憶負荷に関わらず焦点方略と戦術方略は同程度利用されたことを示すものであり、方略の記憶負荷は方略の選択には影響しなかったことを示唆している。

実験 1 で利用した 4 桁で各桁に 3 個の属性をもつ簡易版 Mastermind 課題は、4 次元 3 値の選択事態における概念同定課題と同型であると考えられる (Laughlin et al., 1982)。このような概念同定課題における方略と記憶負荷の関連について、Bruner, Goodnow, & Austin(1956)は、任意に解決に有効な事例を 1 枚選ぶことが可能であるという選択事態では、実験参加者はより記憶負荷が少なくなる方略を利用することを示唆している。したがって、本実験課題においても実験参加者はより記憶負荷の少ない焦点方略の利用度が多くなることが予想される。

Laughlin et al.(1982)の研究で、方略の記憶負荷に関わらず焦点方略と戦術方略の利用度に有意差がみられなかった原因として、方略の記憶負荷は同じでも、実験参加者のワーキングメモリ容量によって、課題遂行に及ぼす影響が様でなかった可能性があげられる。この点を検討するためには、実験 1 と同様に実験参加者のワーキングメモリ容量個人差を考慮した検討が必要である。また、Laughlin et al.(1982)の研究では、ゲームの手順及びルールの説明のみで実験参加者は実験課題を開始するという手続きであった。この手続きでは、実験参加者の焦点方略と戦術方略の記憶負荷の違いに関する認知が不十分であったと推測される。特定の方略の利用はそれまでの方略の利用経験や利用訓練に影響されることから (Ericsson & Kintsch, 1995)、本実験では実験参加者に焦点方略と戦術方略をあらかじめ経験させ、これらの方略を利用経験後の方略利用頻度について検討する。

方法

実験参加者 国立大学学部生 10 名 (男性 9 名, 女性 1 名), 平均年齢 20.4 歳 (範囲 : 19—21 歳)。で、すべての実験参加者はパソコンの操作に関して 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、過去にこのゲームを行った経験のある実験参加者はいなかった。

RST の測定 実験 1 と同じ。

手続き 実験は練習課題と実験課題の 2 つにわけられ、5 日間にわたって行われた。まず、1 日目に実験参加者全員に対して RST が行われた。2 日目は、練習課題による焦点方略と戦術方略の教示と練習が行われた。ここでは、実験参加者に課題の説明が行われ、焦点方略条件 10 ゲームと戦術方略条件 10 ゲームが行われた。各条件の試行順はカウンタバランスされた。練習課題は実験 1 と同じ方法で利用方略の制御を行った。次に 3 日間にわたって実験課題が行われた。実験課題において、実験参加者の方略の利用は実験プログラムにより制御されなかった。各実験参加者は、1 日につき 10 ゲームずつ実験課題を行った。

結果

RST スパン得点の平均値は 2.2, *SD* は 0.2, 総正再生数の平均値は 44.7, *SD* は 5.8 であった。

練習課題 練習課題における試行回数, 解決ゲーム数, 質問コード重複利用回数に関する各条件

の平均値を示したものが Table 3 である。各測度の算出方法は実験 1 と同じである。試行回数、解決ゲーム数、質問コード重複利用回数に関する各条件の平均値に関して、 t 検定を行った。その結果、焦点方略条件は戦術方略条件に比べ有意に試行回数が少なく ($t(9)=-2.41, p<.05$)、解決数は多く ($t(9)=3.16, p<.05$)、質問コード重複利用回数は少ない傾向があり ($t(9)=-2.14, p<.10$) 成績がよかった。

Table 3
実験 2 の各条件の試行回数・解決ゲーム数・質問コード重複利用回数の平均値(標準偏差)

(N=10)	試行回数		解決ゲーム数		重複回数	
焦点方略	5.60	(0.56)	9.00	(1.15)	0.24	(0.16)
戦術方略	6.53	(1.02)	7.30	(1.64)	0.45	(0.26)

実験課題における方略 10 ゲームすべてに焦点方略を利用した実験参加者を焦点方略利用者とし、10 ゲーム中焦点方略以外の方略も利用した実験参加者をその他の方略利用者とした。Table 4 は、焦点方略利用者とその他の方略利用者の人数を示したものである。焦点方略利用者の人数に関して、実験課題 1 日目、2 日目、3 日目において χ^2 分析を行った結果、3 日目において焦点方略利用者の人数(9 名)がその他の方略も利用した人数(1 名)よりも有意に多かった ($\chi^2(1, N=10)=6.40, p<.05$)。

Table 4
焦点方略利用者とその他の方略利用者の人数

	1 日目	2 日目	3 日目
焦点方略利用者	7	6	9
その他の方略利用者	3	4	1

考察

本実験の練習課題を分析した結果、実験課題の 3 つの測度すべてにおいて焦点方略条件の成績がよかった。この結果は、実験 1 の結果を追認するものである。また、実験課題 3 日目において焦点方略利用者の人数が有意に多かった。低スパン群の実験参加者が記憶負荷の少ない方略を利用する頻度が多くなることを示唆する結果である。Bruner et al. (1956) は、認知主体は記憶負荷の少なくなるような方略を利用すること示唆しており、本研究においても同様の傾向がみられたといえる。

全体的考察

ワーキングメモリと補償的方略

本研究の目的は、問題解決におけるワーキングメモリ容量の制約とそれを補償する方略について

検討することであった。実験課題として、領域に依存しない簡易な課題である簡易版 Mastermind 課題という実験課題を利用した。実験課題の解決方略として、解決者への記憶負荷は高いが解にいたる問題空間の探索経路はもっとも短くなる戦術方略と、解決者への記憶負荷を補償する方略であるが解決のための問題空間の探索経路は長くなる焦点方略について検討した。

実験 1, 2 における低スパン群に相当する実験参加者は、焦点方略を利用した場合の成績が戦術方略を利用した場合に比べ一貫して向上していた。この結果は、Figure 1 における C パターンを支持する結果である。すなわち、解決者の記憶負荷を補償する方略である焦点方略は、記憶負荷は高いが論理的には有効な戦術方略を利用した場合よりも成績が向上することが示唆された。本実験課題の解決過程において、焦点方略を利用することによってワーキングメモリへの記憶負荷が補償され、戦術方略を利用した場合よりも成績が向上したと推測される。一方、戦術方略利用時には、記憶負荷の増加によってワーキングメモリの処理資源容量の制約から成績の悪化につながったと推測される。また、解決者が任意にどのような方略を利用するのかについて検討した実験 2 において、解決者は記憶負荷の少ない方略を任意に利用するようになることが示唆された。以上の結果から、方略によるワーキングメモリへの記憶負荷の違いによって問題解決過程が影響を受けることが示唆され、ワーキングメモリへの記憶負荷を補償する方略の有効性が示唆された。

McNamara & Scott (2001) や Turley-Ames & Whitfield (2003) の研究では、RST や OST といったワーキングメモリ課題においてターゲット語を記銘するための特定の記憶方略を用いることによる課題遂行中の記憶負荷の低減が成績の向上に影響したことが報告されている。本研究においても同様に特定の方略による記憶負荷の低減によって、ワーキングメモリの処理資源を効率的に利用できるようになり成績が向上したと推測される。このように本実験課題における焦点方略は、解決者の記憶負荷を補償し制約のあるワーキングメモリの処理資源をより効率的に利用できるようにすることを可能にした補償的方略であることが示唆される。

また McNamara & Scott (2001) や Turley-Ames & Whitfield (2003) の研究においては、ワーキングメモリ課題における記憶方略訓練の効果は低スパン群のみにみられた。本研究においては、実験参加者すべてが低スパン群に分類され高スパン群との比較はできなかった。低スパン群、高スパン群間での問題解決における方略の影響については今後の課題である。総再生数をもとにした低スパン群における H-group と L-group 間における比較では、L-group の重複試行回数が多い傾向があったものの方略要因との交互作用はみられなかった。Figure 1 に示される問題解決における方略と成績の関連が、ワーキングメモリ容量の個人差によってどのようにそのパターンが異なっていくのかについても、今後の検討が必要である。

ワーキングメモリの個人差は、多くの高次認知活動と関連していることが指摘され、ワーキングメモリ課題において高スパン群に分類される実験参加者は他の高次認知活動においてもすぐれた成績を示すことが多くの研究で報告されている (Hambrick et al., 2005)。また、低スパン群に分類される実験参加者の高次認知活動における成績の改善は、教育的かつ発達の観点からも検討が必要とされる重要な点である。ワーキングメモリへの記憶負荷を低減する補償的方略の利用は、高次認知課題における成績改善のための有効な手段の 1 つであることが本研究結果から示唆される。

本実験課題と Raven テスト

RST や OST といったワーキングメモリ課題の成績と Raven テストの成績との間の相関を検討した先行研究では、0.30 程度の相関係数がみられている (Conway et al., 2002; Engle et al., 1999; Kane et al., 2004), 本研究においても Raven テストと本実験課題の各測度間に同程度の相関がみられた。本実験課題が、ワーキングメモリ課題と同等にワーキングメモリ資源を必要とする課題であることを示唆する結果である。

Carpenter et al. (1990) は、Raven テストの各問題における誤反応の分析から、ワーキングメモリに同時にどれだけ多くの情報を保持できるかという点が Raven テストの成績に影響を及ぼす重要な要因であることを示唆している。問題解決においてワーキングメモリ容量の大きい実験参加者は、より多くの下位問題の解を保持することができよい成績を示すと推測される。したがって、ワーキングメモリ課題や本研究における問題解決過程と Raven テストの成績は相関がみられると推測される (Verguts & De Boeck, 2002)。一方、Raven テストの成績と戦術方略条件の成績及び焦点方略条件の成績との相関係数に有意差はなかった。問題解決過程において利用方略による記憶負荷の違いがワーキングメモリ課題や Raven テストによって測定される個人差と相互にどのように関連するのかについて、今後さらに詳細な検討が必要である。

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、ある特定の hoch 認知課題における実験参加者の解決過程を検討する場合、複数のワーキングメモリスパン課題を用いることが推奨されている (Conway et al., 2005)。本研究では、Raven テストとの関連についても検討を行ったがワーキングメモリ課題としては RST のみしか利用していない。本実験課題と RST 以外のワーキングメモリスパン課題との関連についても検討する必要があるであろう。

引用文献

- Ackerman, P. L., Beier, M. E., & Boyle, M. O. (2002). Individual differences in working memory within a nomological network of cognitive and perceptual speed abilities. *Journal of Experimental Psychology: General*, *131*, 567-589.
- Anderson, J. R. (1993). *Rules of the mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Bruner, J. S., Goodnow, J. J., & Austin, G. A. (1956). *A study of thinking*. New York: Wiley.
- Caplan, D., & Waters, G. S. (1999). Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences*, *22*, 77-126.
- 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.
- Cary, M., & Carlson, R. A. (2001). Distributing working memory resources in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *27*, 836-848.
- 中條和光・中尾美月 (2005). 作業記憶容量と補償的文章読解方略の使用との関係—眼球運動を指標として— *読書科学*, *49*, 41-52.

- Conway, A. R. A., Cowan, N., Bunting, M. F., Theriault, D. J., & Minkoff, S. R. B. (2002). A latent variable analysis of working memory capacity, short term memory capacity, processing speed, and general fluid intelligence. *Intelligence*, **30**, 163-183.
- 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.
- 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.
- Ericsson, K. A., & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, **102**, 211-245.
- Hambrick, D. Z., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2005). The role of working memory in higher-level cognition: Domain-specific versus domain-general perspectives. In R. Sternberg & J. E. Pretz (Eds.), *Cognition and Intelligence: Identifying the Mechanisms of the Mind*. New York: Cambridge University Press. pp.104-121.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. In G. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation (Vol. 22)*. New York: Academic Press. pp.193-225.
- 岩原信九郎 (1965). 教育と心理のための推計学 日本文化科学社
- 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.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more than) working-memory capacity? *Intelligence*, **14**, 389-433.
- Laughlin, P. A., Lange, R., & Adamopoulos, J. (1982). Selection strategies for "Mastermind" problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **8**, 475-483.
- McNamara, D. S., & Scott, J. L. (2001). Working memory capacity and strategy use. *Memory & Cognition*, **29**, 10-17.
- 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.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Nishizaki, Y., & Osaka, M. (2006). Working memory dual-task paradigm demonstrates individual differences in cognitive style. *Kansei Engineering International*, **6**, 61-68.
- 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 C A I 学会誌, **11**, 183-194.

- 荻阪満里子・荻阪直行 (1994). 読みとワーキングメモリ容量—日本語版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.
- 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.
- Raven, J. C. (1994). *Advanced Progressive Matrices, Set I · II*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1977). *Standard progressive matrices*. London: H. K. Lewis.
- Turley-Ames, K. J., & Whitfield, M. M. (2003). Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory and Language*, **49**, 446-468.
- Unsworth, N., & Engle, R.W. (2005). Working memory capacity and fluid abilities: Examining the correlation between operation span and raven. *Intelligence*, **33**, 67-81.
- Verguts, T., & De Boeck, P. (2002). On the correlation between working memory capacity performance on intelligence tests. *Learning and Individual Differences*, **13**, 37-55.
- 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.