

学位論文

ワーキングメモリ容量と外的制約が問題解決に及ぼす影響

広島大学大学院教育学研究科

教育人間科学専攻

大塚一徳

目 次

第1章 背景と目的	1
第1節 ワーキングメモリと問題解決の概念	4
第2節 ワーキングメモリと問題解決に関する研究の問題点	11
第3節 本研究の目的と方法	28
第2章 ワーキングメモリ容量と外的制約が問題解決に及ぼす影響	46
第1節 ワーキングメモリ容量と問題空間が問題解決に及ぼす影響 (研究1)	46
第2節 ワーキングメモリ容量と外的表象が問題解決に及ぼす影響 (研究2)	54
第3節 ワーキングメモリ容量と外的表象の利用が問題解決に及ぼす 影響 (研究3)	66
第3章 総合考察	91
第1節 本研究の成果と意義	91
第2節 今後の課題	97
引用文献	100

第 1 章 背景と目的

認知心理学では、思考プロセスの解明のために、人間の問題解決プロセスを情報処理としてとらえる情報処理アプローチによって問題解決研究が行われている。一般に、我々は問題解決にあたって、様々な制約要因の影響を受ける。問題解決における制約要因としては、大きく内的な制約と外的な制約とに分けられる。内的な制約としては、認知主体の知覚的な制約や領域固有の知識、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が考えられる。我々は様々な制約要因のもと、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、課題の制約に適応して効率的に問題解決にあたらうとする。

内的制約要因が、それぞれどのような性質を持ち、どのような機序で認知主体の問題解決に影響を及ぼすのかについて、これまで多くの先行研究がその構造の解明を試み、内的な問題解決のモデルを構築してきた。一方、外的な制約要因についても、問題そのものに関する情報処理的なモデルによる構造分析や、外的資源に関するアフォーダンス論的な分析や状況論的な分析が試みられてきた。

問題解決において認知主体のおかれた環境，人工物，図，他者といった外的資源の重要性が強調されると同時に，それらはどのように知識や記憶能力といった内的資源と相互作用するのかといったことに関して多くの先行研究が行われている。そのような研究では，そもそも外的資源はどのような構造を持つのか，図は認知活動にどのような影響を及ぼすのか，学習に及ぼす外的な資源や行為の影響はどのようなものか，さらには社会や文化の影響はどのようなものかといった問題が扱われている。

このような多くの先行研究では，外的資源による外的制約の緩和によって問題解決プロセスはどのような影響を受けるのか，あるいは課題そのものは内的資源と外的資源によってどのような構造を持つとみなされるのか，外的制約要因と内的制約要因の相互作用はどのようなものであるのかといった点について検討している。例えば，図やグラフを利用することによる認知的負荷の軽減は，問題解決にどのような影響を及ぼすのか，あるいは課題の外見が変化することで課題の構造そのものや難易度がどのように変化するのかといったことが検討されてきた。そのような研究において近年，内的制約要因の1つとして，認知に関する重要な内的資源であるワーキングメモリの重要性が指摘されてきている。ワーキングメモリは，特定の認知活動を支える情報の一時的な保持システム(Baddeley, 2007)であり，認知主体の情報処理を担う中枢のシステムと考えられている(Goldman-Rakic, 1992; Shah & Miyake, 1999)。問題解決といった高次認知活動において，認知課題や外的資源といった外的制約条件と同様に，内的資源としてのワーキングメモリの機構や働き

及びそれらの相互作用の重要性が指摘されている(Miyake & Shah, 1999; Larkin, 1989; Zhang, 1997; Zhang & Norman, 1994)。

例えば 387×312 といった計算を行う場合、途中の計算とその結果の保持にワーキングメモリの処理資源が必要である。しかし、この課題は紙や鉛筆もしくは電卓といった道具を利用しないと、一般にはかなり困難な計算課題である。この計算課題の遂行には、紙や鉛筆といった外的な資源が利用可能か否かという外的制約要因とワーキングメモリ容量が関連していると考えられる。このような、内的制約要因としてのワーキングメモリの重要性が指摘されているものの、高次認知活動や問題解決におけるワーキングメモリと外的制約要因の相互作用についてはこれまで十分に検討されてきていない。これは、ワーキングメモリ研究者自身が、ワーキングメモリの機構や構成要素といったことに関心の中心があり、外的制約要因との相互作用についてはあまり関心が向いていなかったためであると思われる。しかし、従来の静的な短期記憶の概念とは異なり、情報の处理的側面を重視するワーキングメモリが問題解決のような高次認知活動にどのような影響を及ぼすのかといった点は、解明されなければならない重要なテーマであろう。また、我々の高次認知活動は、常に内的な表象と外的な表象の両方を参照しながら進められている。したがって、このような認知活動の内的な処理資源であるワーキングメモリと外的制約要因や外的資源との間にどのような相互作用があるのかについては、十分に検討される必要があるであろう。

本研究では、問題解決といった高次認知活動における内的制約要因としてワーキングメモリをとりあげる。また、これまで多くの要因が検討されてきている問題解決における外的制約要因の中から、問題空間と

いう課題に由来する外的制約要因と外的資源の1つである外的表象をとりあげる。問題解決において、ワーキングメモリとこれらの外的制約要因にはどのような相互作用があるのかについて、ワーキングメモリも独立変数とした分析を行うことで、本研究は検討を行う。

第1節 ワーキングメモリと問題解決の概念

ワーキングメモリ

従来の短期記憶の概念(Atkinson & Shiffrin, 1971)は、長期記憶との構造的区分への疑問、处理的観点の欠如、言語理解や推論などの日常的認知活動における役割の不明確さなどの問題点が指摘されてきた(三宅, 1995)。その欠点を補う形で提唱されたのが、ワーキングメモリ(Baddeley, 1986; Baddeley & Hitch, 1974)の概念である。

ワーキングメモリという表現は、もともとコンピュータのメインメモリの部分的な概念として生まれ、主として作業用の領域を指す用語として用いられてきた。そこで、コンピュータのワーキングメモリのメタファーとして、人間の記憶にもこのような作業領域に対応した記憶領域が存在するのではないかと考えられた。認知心理学におけるワーキングメモリの概念は、情報の保持的側面ではなく处理的側面を重視することに大きな特徴があるといえる。

Baddeley & Hitch(1974)によってワーキングメモリの概念が提唱されて以来、ワーキングメモリに関する多数の理論が提唱されるようにな

り、ワーキングメモリの概念や理論的枠組みは多彩に広がることとなった。そこで、1997年7月にコロラド大学ボルダー校で「Models of Working Memory」というシンポジウムが開催され、主要な10種類のワーキングメモリに関する理論モデルについて比較検討された。その結果、それぞれのモデルの共通点から導かれた定義は、以下の通りである。

「ワーキングメモリとは、複雑な認知課題の遂行に必要な課題関連情報の制御と積極的な保持を担うメカニズムでありプロセスである。ワーキングメモリは、また、メカニズムやプロセスの集合体であり、認知的なアーキテクチャの中に存在する固定的な『場所(place)』や『箱(box)』ではない。そして完全に単一のシステムではなく、複数のコードを持ち、複数のサブシステムから成る (Miyake & Shah, 1999)」

現在も様々な理論的立場からワーキングメモリの研究は行われているが、特に認知心理学的な理論及び手法による主要な研究の1つとして、ワーキングメモリがどのような構成要素からなり、それらは我々の認知活動にどのような役割を果たしているのかといった、ワーキングメモリの構成システムを探る一連の研究がある。

ワーキングメモリの多重要素モデル

Baddeley(2000, 2007)は、ワーキングメモリを図1-1に示す構成要素からなるシステムであるというワーキングメモリの多重要素モデル(multi component model)を提案している。このモデルでは、音韻的な成分(phonological loop)、視空間的な成分(visuospatial sketchpad)、

意味的な成分(episodic buffer)及び制御的な成分(central executive)といった構成要素がモデル化されている。これらのワーキングメモリの構成要素が、認知活動においてどのように機能し、相互に関連しているのかといったトピックスに関して势力的な研究が行われている(Baddeley, 2007)。

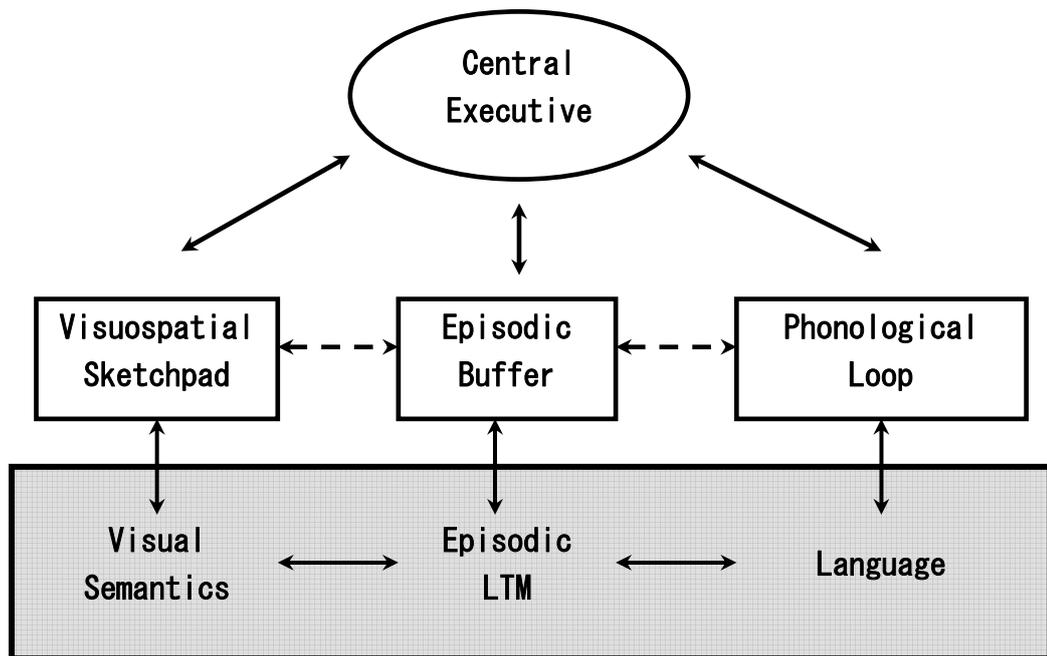


図 1-1 ワーキングメモリの多重要素モデル(Baddeley(2007)を一部改変)

ワーキングメモリの処理資源モデル

一方、もう1つの主要な認知心理学的なワーキングメモリ研究の流れとして、ワーキングメモリの処理資源に注目し処理容量の制約や個人差に注目した研究がある(Daneman & Carpenter, 1980; Just &

Carpenter, 1992)。特定の認知活動を支える情報の一時的な保持システムであるワーキングメモリは、処理した情報の保持と、その情報にもと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(Just & Carpenter, 1992)と想定される。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、それにもと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)。Just & Carpenter (1992)は、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。Baddeley (1986)のモデルにおいても処理資源は仮定されているが、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、認知プロセスを重視したモデルであり、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したワーキングメモリのモデルであるといえる(Miyake, Just, & Carpenter, 1994)。

Just & Carpenter(1992)は、ワーキングメモリ容量の個人差を想定し、様々な認知課題の遂行においてワーキングメモリ容量の個人差が重要な影響を及ぼすという独自のワーキングメモリモデルを構築している。彼らのモデルでは、ワーキングメモリを1つの処理資源の貯蔵庫(pool)として考え、長期記憶の活性化した状態であるとしている点に特徴がある(齊藤, 1997)。

このモデルは、3CAPS(Capacity-Constrained, Concurrent, Activation-based Production System)というプロダクション・システムにもとづくもので、情報の処理と保持の並列的なプロセスにおいて活性化(activation)という処理資源が必要とされる。すなわち、情報を保持す

るためにはその情報を活性化した状態に保っておくために処理資源が必要となり，また同時に情報を処理するためにも活性化によってプロダクション規則を実行させるために処理資源が必要となる。このように情報の処理と保持の並列的なプロセスは，共に活性という処理資源に依存すると想定されている。さらに，この活性という処理資源には容量の限界が想定されており，処理資源容量の限界時に情報の忘却や処理の遅延といった悪影響が生じるとされている。

彼らのモデルでは，認知課題の遂行における情報の保持と処理の並列的なプロセスにおける処理資源の供給元としてワーキングメモリをとらえている。したがって，認知課題の要求する情報の保持と処理の量が多ければ多いほど，処理と保持という機能の間に処理資源のトレードオフの関係が存在し，ワーキングメモリ容量の個人差が顕著にあらわれると想定している(Miyake, 1994)。そこで，ワーキングメモリ容量の大きい人と小さい人が，種々の認知課題でどのような差を示すかというワーキングメモリ容量の個人差の観点からモデルの妥当性を検討している。

彼らはこのようなワーキングメモリの容量制約のモデルをもとに，言語理解における個人差(Carpenter, Miyake & Just, 1994, 1995; Miyake, Carpenter, & Just, 1994; Miyake et al., 1994)，問題解決と推論(Carpenter, Just & Shell, 1990; Just, Carpenter & Hemphill, 1996)，空間的思考(Just & Carpenter, 1985; Shah & Miyake, 1996)といった様々な領域で，ワーキングメモリ容量の限界によって認知課題の遂行に制約が生じることを報告している。

ワーキングメモリ容量の処理資源モデルでは，内的資源であるワーキングメモリ容量が問題解決に及ぼす影響は，具体的にはどのようなあ

らわれ方をするのか，その影響は容量によって異なるのか，といった点が，高次認知活動におけるワーキングメモリの機能をあきらかにするうえで重要な問題であることを指摘している。このような観点から，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とらえる。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。

問題解決

いわゆる問題解決という用語は様々な用途に利用される。問題を解決することは，思考の中核的な活動である。認知心理学における思考研究の多くは，実際に認知主体に問題を解決させ，そのプロセスを分析することによって行われてきた。本研究では，問題解決の対象となる問題を，解とされる状態（目標，**goal**）は1つしか存在せず，それに対する方略（解き方）も最適なものが存在するという明確に定義された問題を対象とする。

問題解決とは，問題が未解決の初期状態(**initial state**)から問題が解決された目標状態(**goal state**)へと状態を遷移させるプロセスであると定義される(**Newell & Simon, 1972**)。問題解決プロセスとは，初期状態から目標状態まで，適用可能な操作子を適宜用いることで問題状態を遷移させるプロセスと考えられる。この問題状態の集合は問題空間(**problem space**)と呼ばれ，問題解決プロセスは問題空間内における探索プロセスとしてとらえられる(**Newell & Simon, 1972**)。問題解決において，初期状態，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)が明確に定義される問題を良定義問題(well-defined problem)という。本研究では、良定義問題における問題解決プロセスが検討の対象である。

問題空間においては、目標状態と初期状態の間にいくつかの副目標状態すなわち下位目標が存在する。問題解決者は、制約条件を考慮したうえで操作子を適用し、目標状態にいたる系列にあるいくつかの下位目標へ到達していきながら問題空間内を探索していく。

問題解決においては、宣言的知識(declarative knowledge)や手続き的知識(procedural knowledge)といった知識に関する問題も重要である。しかし、本研究は、ワーキングメモリとその処理資源容量といった問題に焦点を絞るため、問題解決における知識の個人差の問題については言及しない。したがって、本研究では、問題解決課題として新奇で、領域に依存しない問題解決課題を対象とする。

問題解決は、多くの認知的な制約(cognitive constraints)のもとに遂行される。Cary & Carlson(1999)は問題解決における認知的な制約を、さらに概念的(conceptual)、解決プロセス(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。解決プロセスにおける制約とは、解決プロセス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に解を正しく導き出すことが必須条件となるような解決プロセス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、問題解決を遂行する特定の個人が直面する問題そのものや利用可能な資源といった外的制約を意味するものである。本研究は、このような問題解決における認知的制約の中で、ワーキングメモリ容量の制約と外的制約の相互作用に焦点をあてるものである。

第2節 ワーキングメモリと問題解決に関する研究の問題点

ワーキングメモリの構成要素

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には、ある特定の問題解決課題におけるワーキングメモリの構成要素の機能や影響に関して検討したものがある。例えば、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, Logie, Wetherick, & Wynn, 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), 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。

このような研究では、ワーキングメモリ研究における主要な研究方法の1つである二重課題法という手法が用いられている。二重課題法はBaddeley & Hitch(1974)がワーキングメモリ概念を提案する際に用い

た手法であり、その後も、モデルの理論的枠組みの中で頻繁に用いられている方法である。この手法は、ワーキングメモリ研究においてはもっとも一般的で、ワーキングメモリの多重要素モデルの構築と理論化に寄与してきた方法である。

二重課題法では、実験の参加者に一次課題（primary task）と二次課題（secondary task）といった2種類の異なる課題を課す。一次課題遂行中に、ある特定の処理機能や成分を持つ二次課題を同時に課し、それによって生じる一次課題のパフォーマンスの変化を測定する。二次課題が一次課題のパフォーマンスに干渉を起こした場合、二次課題の成分が一次課題に含まれると推定することによって、一次課題に含まれる特定の処理機能やシステムの役割を検討する。

問題解決におけるワーキングメモリの構成要素の機能を検討する研究においても、一次課題としての問題解決課題の遂行中にある特定の処理機能や成分を持つ二次課題を同時に課すことによって、問題解決プロセスにおけるワーキングメモリの構成要素の影響が検討されている。

ワーキングメモリの処理資源

一方、本研究と同様にワーキングメモリの処理資源モデルの観点から、問題解決におけるワーキングメモリ容量の影響についても検討されている。

Raven Progressive Matrices Test Carpenter et al.(1990)は、問題解決プロセスにおけるワーキングメモリ容量の制約について、Raven Progressive Matrices Test(Raven, 1994; Raven, Court, & Raven, 1977, 以下 Raven テストと略す)の解決プロセスを対象とした一連の

実験を行った。Raven テストは非言語性の視覚的類推課題であり、固有の知識に依存しない領域に独立した課題である。彼女らは、Raven テストが大学生を参加者とした実験においてもテスト結果の個人差が安定して得られることから解決プロセスを分析しやすいこと、36 問という問題数があることから問題解決行動の実験的分析に適していること、図を利用した設問であるため眼球運動データを収集することができること、及び他の知能テストよりも問題解決プロセスがより一般的であると考えられることなどの理由から、Raven テストを問題解決課題としてとりあげた。

1 つの設問は、3×3 の格子状に右端最下段が空白となって 8 個の図が呈示されている課題である。参加者はこの空白の欄に入る適切な図を、課題の下に配置されている 8 個の選択肢の中から選ばなければならない。図 1-2 は、Raven テストの例である。通常、参加者は 12 問の練習試行の後、36 問のテストを受けなければならない。参加者は、空白の欄を埋める図を選び出すために、呈示されている 8 個の図はどのような規則で配置され、どのような属性で形成されているかを見極めなければならない。個々の規則は簡易なものであるが、問題の難易度が上がるにつれ図を同定するための規則が多くなっていく。したがって参加者は、図を同定する規則が多くなるにつれ、同時に複数の規則の変化を考慮する必要がある。

問題で呈示される 8 個の図に適用されているルールには、例えば同一行内では同じ形態であるがその大きさが変化するという規則や、隣接する図の間で量的な変化が規則的に発生するもの、左端の図と中央の図を形態的に加算あるいは減算して右端の図を形成するといったものがある。

る。さらに、3つの特定の属性を持った図形や2つの属性を持った図形といったように、図形を構成する属性に関する規則もある。このような規則が様々に組み合わせられ、組み合わせられる規則の種類や数の多さによって難易度は設問ごとに異なったものとなる。

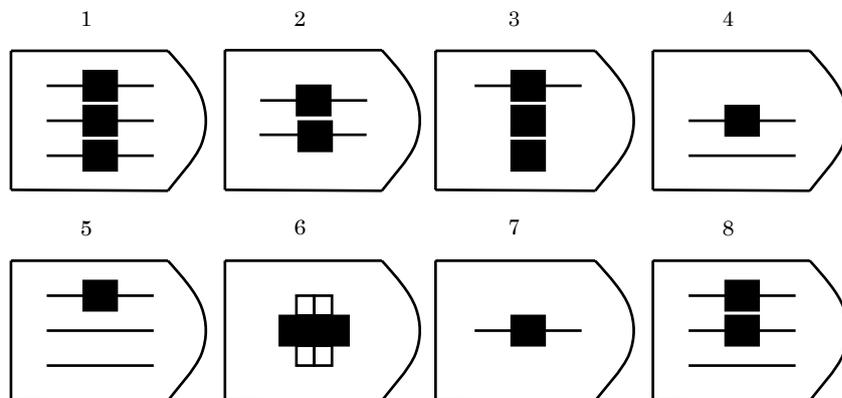
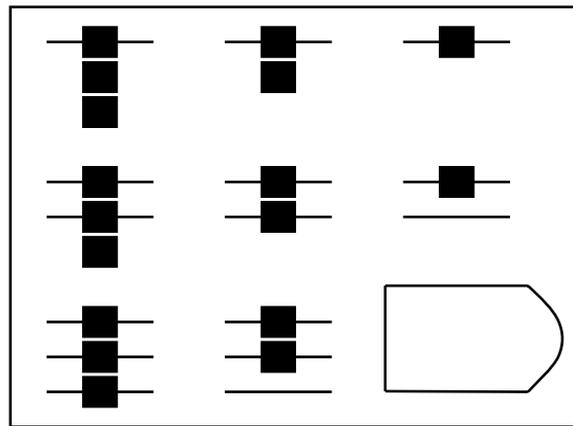


図 1-2 Raven Progressive Matrices Test の例(Raven, 1994)

彼女らは、このテストの解決プロセスにおける眼球運動と言語プロトコル及び誤反応から Raven テストにおける解決プロセスの特徴を見いだした。特徴としては、解決プロセスは少数の図の比較による規則の

抽出から、より多くの図の間での規則の適用と比較というように漸増的なプロセスであったということ、また、考慮する必要がある規則の数は、参加者の誤反応率に影響を及ぼすということ、及び解決プロセスとテスト結果双方にかなりの個人差がみられたということであった。

このような結果から、図を構成する属性や規則をどれだけ同時に考慮に入れて解を推論することが可能かという点が、**Raven** テストの問題解決における個人差を形成しているのではないかと考えられた。すなわち、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上で遂行する能力の個人差が、**Raven** テストの問題解決における個人差の本質と考えられた。

ハノイの塔課題 ワーキングメモリ上で **Raven** テストの問題空間を探索し、下位目標を生成、解決しその情報を保持しつつ新たな下位目標を処理していくといった能力は、より一般的な基本的問題解決能力と考えられる。したがって、**Raven** テストにおいてパフォーマンスの良い参加者は、他の **Raven** テストと同様の領域固有の知識を必要としない新奇な問題解決課題においても良いパフォーマンスを示すであろうと予想される。この点を検証するために **Carpenter et al.(1990)**は、さらにハノイの塔の問題解決プロセスと **Raven** テストの問題解決プロセスを比較する実験を行った。

ハノイの塔問題は、3本のペグと3枚若しくはそれ以上の大きさの異なるディスクからなる問題である。初期状態では、すべてのディスクは左端のペグに大きいディスクが下になるというピラミッド上の形で積み重なっている（図 1-3 右上）。目標状態は、右端のペグに同様の状態で

ディスクを積み重ねることである。ディスクを動かす際には、「ディスクは一度に 1 枚しか動かさない」、「小さいディスクの上に大きいディスクを乗せてはならない」という 2 つの条件を守らなければならない。

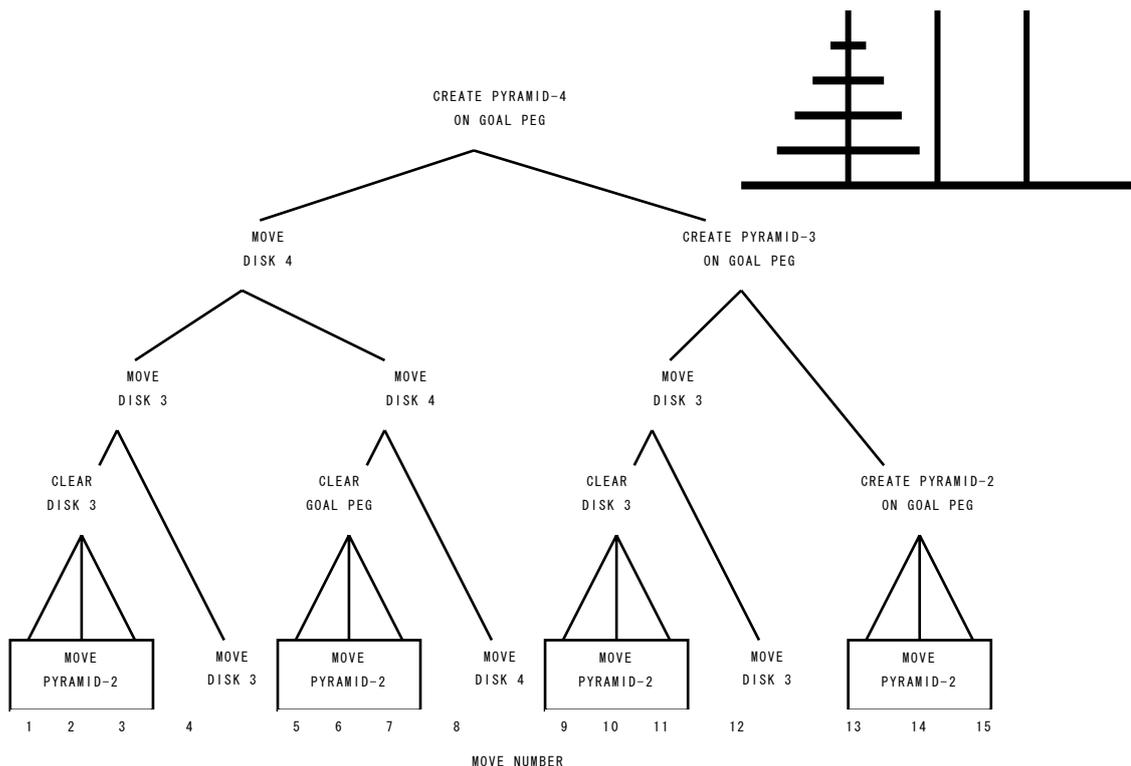


図 1-3 再帰方略を利用した時のハノイの塔問題の問題構造

注) 左端最下部より開始され 15 回の移動で目標状態となる (Carpenter et al., 1990)。

通常ハノイの塔を実験課題とした研究では、実験の参加者がどのようにして最適な方略を獲得するのかといった点に焦点が当てられていた。しかし、彼女らの研究では **Raven** テストとハノイの塔の問題解決プロセスでのパフォーマンスの相関を検討するために、前もって参加者

に方略を教示し練習を行った。彼女らの実験で教示された方略は、再帰方略(goal-recursion strategy)と呼ばれるものであった。

ハノイの塔では、最初にもっとも大きいディスクを右端のペグに移動させることが必要となる。しかし、もっとも大きいディスクを移動させるためには、もっとも大きいディスクの上部にあるディスクを移動させなければならない。さらにその上部にあるディスクを動かすためにはその上のディスクを動かす必要があるといったように、同一の手続きを再帰的に繰り返すという方略を再帰方略という。

参加者がこの方略を実行する場合、この問題空間にある下位目標を適切に生成し、生成した下位目標は問題空間のどの部分に位置するものなのか保持しておかなければならない。図 1-3 は 4 枚ディスク版ハノイの塔問題において、再帰方略を利用した場合の問題空間を図式化したものである。各分岐には下位目標が記されており、節の 1 つ 1 つはディスクの移動を示すものである。

参加者は再帰方略を利用してハノイの塔問題を解く場合、図 1-3 の最左端の下位目標を生成するように教示され、それ以後は様々な下位目標を生成し処理することが必要とされる。特に、1, 5, 9, 13 の移動の場合、参加者はあらかじめその後の下位目標を 1 つないしは複数生成したうえで、ディスクの移動先を決定しなければならない。このように、ハノイの塔の解決プロセスにおいても再帰方略を利用した場合、ワーキングメモリ上で下位目標を生成、保持しておくことが必要となる。したがって、Raven テストのパフォーマンスと再帰方略を利用した場合のハノイの塔問題のパフォーマンスは相関することが予想された。実験の

結果、Raven テストの誤反応数とハノイの塔問題における誤反応数には高い相関があった($r = .77$)。

また、参加者がハノイの塔問題の解決中、ワーキングメモリに生成しなければならない下位目標が多くなり、認知的負荷が大きくなると誤反応も多くなると予想される。認知的負荷の大きさは参加者のワーキングメモリ容量の個人差によって異なることから、ワーキングメモリ容量の大きい参加者は、認知的負荷が大きい場合もワーキングメモリ容量の小さい参加者に比べ誤反応数が少ないと予想された。

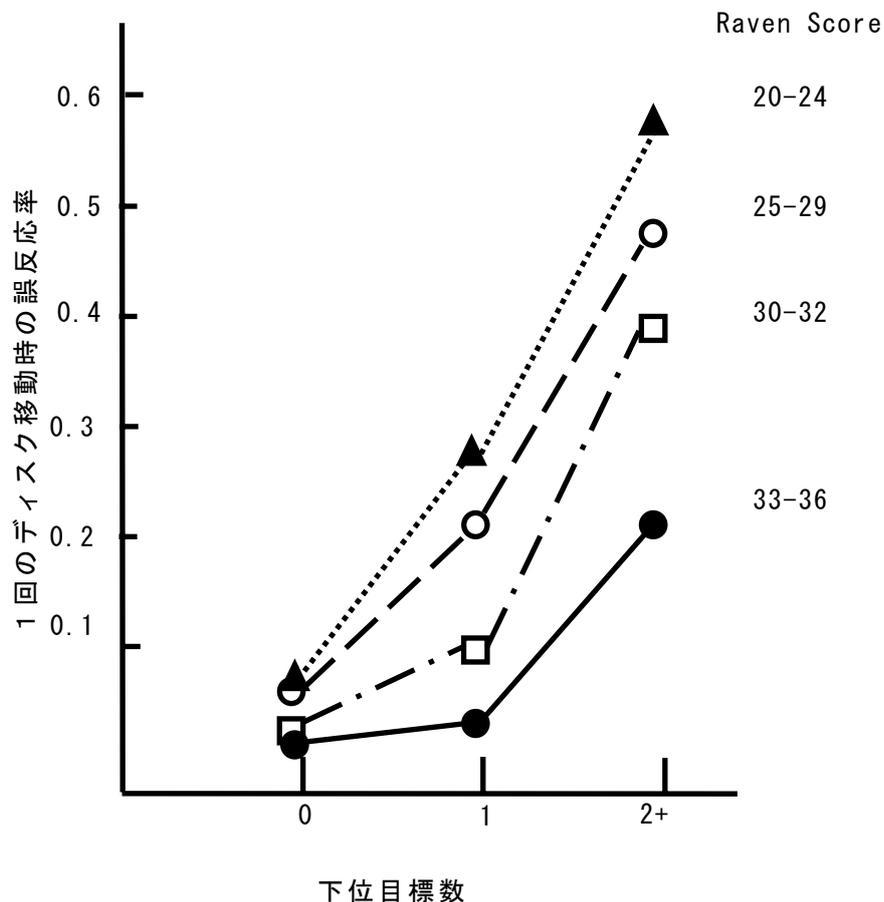


図 1-4 下位目標ごとの 1 回のディスク移動時の誤反応率(Carpenter et al., 1990)

彼女らは、認知的負荷の差異はディスクを移動する際にあらかじめ生成しそれを保持しておく必要のある下位目標の数(0, 1, 2 以上)と考え、それをもとに分析を行った。また、ワーキングメモリ容量の個人差として Raven テストの得点によって、参加者を 4 つのグループに分けて分析した。図 1-4 は分析の結果を図示したものである。あらかじめ下位目標を生成し保持しておくことがない場合は、極めて誤反応が少なかった。それに対し、Raven テストの得点が低い群の参加者ほど、ディスクの移動時に生成し保持しておく下位目標の数が多くなるにつれ誤反応が増えていった。また Raven テストの得点がもっとも高い参加者は、ハノイの塔問題においてももっとも誤反応数が少なかった。

このような結果から、ハノイの塔問題で再帰方略を利用した場合の誤反応はワーキングメモリ容量の制約にもとづくものであることが示された。また、Raven テストのパフォーマンスもワーキングメモリ上での下位目標の生成や問題空間の探索といった目標管理(goal management)能力を反映したものであることが示された。

二重課題状況でのハノイの塔課題 Just et al.(1996)は、Carpenter et al.(1990)と同様の実験事態で、ハノイの塔問題の解決中に同時に別の課題を実験の参加者に行わせるという、二重課題状況での実験を行った。同時に行わなければならない課題はワーキングメモリの処理資源を消費するため、その結果再帰方略を利用した場合の誤反応は増加すると考えられた。しかし、彼らはハノイの塔問題の解決プロセスにおける認知的負荷の差異によって、二重課題の影響は異なると予想した。すなわち、Carpenter et al.(1990)と同様にディスクを移動する際にあらかじめ生成しそれを保持しておく必要のある下位目標の数(0, 1, 2 以上)

によって、二重課題の影響は異なり、あらかじめ生成しておかなければならない下位目標がない場合は二重課題の影響が他の場合に比べて少ないだろうと予想した。

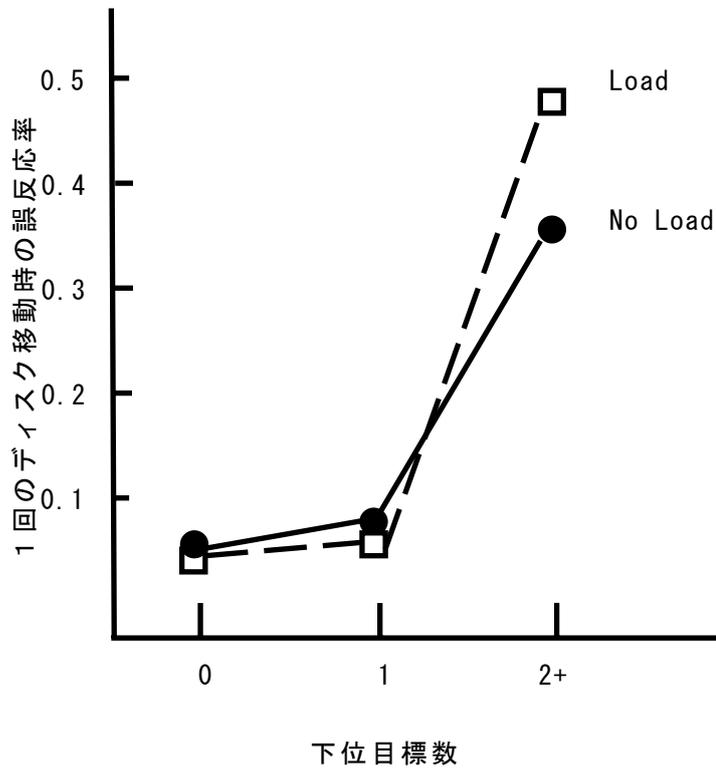


図 1-5 二重課題の有無と下位目標ごとの 1 回のディスク移動時の誤反応率(Just et al., 1996)

実験では、二重課題条件(Load condition)の参加者は、コンピュータディスプレイ上でハノイの塔問題を解く際に画面の 2 か所に相互にランダムに呈示されるアルファベット 1 文字を監視し、アルファベットが母音の場合はキーボードのスペースキーを押下するという課題も同時に行わなければならなかった。図 1-5 は実験の結果を図示したものである。2 個以上の下位目標をあらかじめ生成しなければならないディスク

の移動の場合，二重課題条件の参加者は誤反応が多くなっており，彼らの予想通りの実験結果であった。この結果からもより多くの下位目標をあらかじめ生成しておく必要があるようなディスクの移動は，よりワーキングメモリ上の処理資源を消費することが示された。

さらに彼らは，問題解決プロセスにおける問題空間の探索や下位目標の生成及びその解の保持といった一連の情報の処理プロセスがワーキングメモリ上の処理資源を消費することを示すために，上記と同様の実験手続きで瞳孔反応(pupillometric responses)を測定した。その結果，ハノイの塔問題とワーキングメモリに関するここで紹介した一連の実験結果と同様に，下位目標の生成とその保持は認知的な処理資源を消費することが示された。また，Carpenter et al.(1990)及び Just et al.(1996)では，Raven テスト及びハノイの塔問題に関する一連の実験結果について 3CAPS システムをもとにしたプロダクション・システムによってコンピュータシミュレーションを行った。その結果，Raven テストやハノイの塔の問題解決におけるワーキングメモリ容量限界による制約の妥当性が示された。

上記に紹介した Carpenter et al.(1990)及び Just et al.(1996)の研究は，ワーキングメモリの処理資源容量の制約が領域に依存しない問題解決課題に及ぼす影響について，課題の認知的負荷が高いほどその影響が解決プロセスに顕著にあらわれることを実証している。しかし，現在もっとも標準的に利用されるワーキングメモリ容量の査定方法である 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 R S T)や，Turner & Engle(1989)によって開発されたオペレーションスパン・テスト

(Operation Span Test, 以下OST)等のワーキングメモリスパン課題によるワーキングメモリ容量の査定は行っていない。また、ワーキングメモリ容量と課題固有の制約要因である問題空間の大きさや外的資源といった、外的制約要因については検討されていない。

問題解決における制約要因

問題空間 問題を解決するために、認知主体は与えられた問題に関する情報、すなわち初期状態、目標状態、操作子、操作子制約要因などの心的表象(mental representation)を構成する。このような問題に関する心的表象が問題空間であり、問題についての個人的表象である。ただし、問題についての個人的表象である問題空間が、すべての問題状態、操作子、操作子制約要因や下位問題を網羅した完全な問題空間を表象しているわけではない。ある特定の問題におけるすべての状態、操作子及び下位問題等を含んだ論理的に完全な問題空間は基本問題空間(basic problem space)として定義され区別される(Newell & Simon, 1972)。

問題解決プロセスは問題空間内における探索プロセスとしてとらえられる(Newell & Simon, 1972)。同一の操作子及び操作子制約条件のもとでは、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。問題空間において問題解決者が適用できる操作子や表象できる下位問題の差異は、問題解決の個人差を規定する重要な要因であることが指摘されている(Newell & Simon, 1972)。

解決方略 良定義問題における解決プロセスにおいて、目標状態に到達するための探索プロセス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、問題解決プロセス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、あるい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の両方によって異なってくる (Cary & Carlson, 2001)。問題解決において紙や鉛筆といった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。

ワーキングメモリスパン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、R S Tにおいてターゲット語を記録するための記憶方略を参加者に訓練することによって、R S Tのパフォーマンス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、O S T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、ターゲット語を記録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)。

領域固有の知識 領域固有の知識は問題解決に重要な影響を及ぼす要因の1つである(Greeno, 1978)。Hambrick & Engle(2002)は、ワーキングメモリスパン課題で査定されるワーキングメモリ容量と領域固有の知識は相互にどのように問題解決に影響を及ぼすのかについて、ベースボール課題という野球に関する領域固有の知識が必要な課題を用いて検討した。その結果、領域固有の知識が必要とされる問題解決課題においても、領域固有の知識と同等にワーキングメモリ容量が課題のパフォーマンスを決定する要因の1つであることが示唆された。Hambrick & Engle(2002)の研究では、ワーキングメモリスパン課題で査定されるワーキングメモリ容量と領域固有の知識という問題解決における重要な内的資源を検討しているが、彼らも外的な制約要因との関連は検討していない。

外的表象 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)。外的表象とは、認知活動に必要な情報や概念が外化されたものであり、図やグラフ、メモに記された内容等である。内的な資源であるワーキングメモリだけではなく、計算をする際に紙や鉛筆を利用したり問題解決の際に図を描いたりといった外的な記憶資源の利用も、我々は日々の生活の中でよく行っている。このような認知活動における外的表象の機能について多くの研究が行われてきた(Larkin, 1989; Zhang & Norman, 1994)。また、我々が日常行う高次の認知活動においては、その多くが心的表象と外的表象に交互

に注意を向けながら繰り広げられている(Miyake & Shah, 1999)。このような高次認知活動における心的表象としてのワーキングメモリと外的表象との関連について Zhang & Norman(1994)は、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問題空間を持った分散認知課題(distributed cognitive tasks)として分析可能であることを指摘している。また、Cary & Carlson(1999)は、このような分散認知課題の解決プロセス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ことを示唆している。

一方、外的資源は単に記憶補助であり記憶負荷を減少させるものという単純化された視点から、高次認知活動における外的表象の機能についてはワーキングメモリ研究者の十分な関心の対象とはなっていなかったことも指摘されている(Miyake & Shah, 1999)。しかし、我々の日々の高次認知活動において、内的な情報と外的な情報の処理はダイナミックに相互作用し、内的表象と外的表象に分散された表象の間を行き来する必要がある (Zhang, 1997)。内的表象とは、認知主体の記憶に蓄えられた認知活動に必要な情報や知識に関する象徴的なイメージやスキーマが活性化されたものである。ワーキングメモリは、このような日々の高次認知活動における内的表象と外的表象の間の重要なインターフェースとしての重要性も指摘されている(Miyake & Shah, 1999)。

問題解決における外的表象の利用にあたっては、内的表象の処理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、問題解決プロセスを解明していくためにも、内的表象の処理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 & 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することが必要とされる。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(Schönplflug, 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なければならない。このように、外的表象が利用可能な場合の問題解決プロセスでは、必要とされる情報が内的なものとの外的なものに分散する、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と外的表象に分散するワーキングメモリ資源が、問題解決プロセスにどのような影響を及ぼすのかを検討した先行研究には、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呈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、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かか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を示した。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。しかし、これらの研究では、外的表象の利用そのものが解決プロセス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。

我々が日常行う問題解決行動は、内的資源と外的資源に交互に注意が向けられ、それぞれの制約要因を考慮しながら進められている。したがって、問題解決における内的な制約要因の1つであるワーキングメモリと外的な制約要因との相互的な関連性について検討することは重要な課題である(Miyake & Shah, 1999)。しかし、上述のように従来の研究では、内的制約要因と外的制約要因を切り離して取り扱っており、ワーキングメモリと外的制約要因が問題解決に及ぼす相互作用についてはこれまで十分に検討されてきていないことが問題点として挙げられる。

第3節 本研究の目的と方法

本研究は、初期状態と目標状態が明確な良定義問題において、ワーキングメモリ容量と外的制約が問題解決プロセスに及ぼす影響について、特にその相互作用を中心に検討することを目的とする。外的制約として、問題空間の大きさと外的表象をとりあげる。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プロセスに影響を及ぼす直接的な要因の1つと考えられる(Newell & Simon, 1972)。また、目標状態に到達するための探索プロセスや、課題によって利用可能な解決方略は異なり、良定義問題においてどのような解決方略が利用可能であるかは、問題解決プロセスに影響する重要な要因である(Anderson, 1993)。そこで、本研究では解決方略を考慮した検討も行う。さらに、我々の日常の高次認知活動における情報処理は、内的表象から外的表象に分散する表象の間をダイナミックに行き来する必要がある(Zhang, 1997)ので、内的表象のための処理資源であるワーキングメモリと外的表象との相互的な関連性は、重要な問題であると考えられる。

従来、ワーキングメモリ容量と外的な制約要因による認知的負荷は相互に重要な影響を問題解決に及ぼすことが指摘され、ワーキングメモリ容量によって外的制約の影響のあらわれ方は異なることが予想されている。しかし、ワーキングメモリ容量とどのような外的制約要因が問題解決プロセスに影響を及ぼし、その相互作用がどのようなものであるのかについては十分に実証的に検討されていない。そこで本研究では、問題空間(研究 1)と外的表象(研究 2, 3)という2つの外的制約要因をとり

あげ、ワーキングメモリ容量とこれらの外的制約要因が問題解決に及ぼす影響とその相互作用について検討する。以上の結果を踏まえ、問題解決における課題に関連する情報の保持や処理に、ワーキングメモリ容量と上記の外的制約要因がどのように関連しているのかについて各外的制約の特性をもとに考察する。本研究では実験課題として、これらの要因を操作することが可能で、かつ問題解決に影響を及ぼす領域固有の知識に依存しない課題として、簡易版 Mastermind 課題を利用する。

実験課題

簡易版 Mastermind 課題 本研究では、解決に際してワーキングメモリでの情報の処理と保持が必要となる問題解決課題として、数当てゲームの一種である Mastermind 課題という推論型ゲームを実験課題として利用する。Mastermind 課題は、秘密の色の組み合わせ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。ゲームはコンピュータと解決者で行い、以下のように進行する。最初、コンピュータが1つの秘密の色の組み合わせを選ぶ。解決者は1つの色の組み合わせを挙げ、それがコンピュータによる秘密の色の組み合わせかどうかを問う。それに対して、コンピュータは Yes, No の代わりに、それら2つの色の組み合わせに共通にあらわれる色の組数などの情報をフィードバックする。以下、解決者が秘密の色の組み合わせを当てるまで、このやりとりを繰り返す。色の種類を n 個、組み合わせの桁数を m 桁とすると、可能な色の組み合わせ数は n 個の色から m 桁の色をとる重複順列である。

オリジナルな Mastermind 課題は、8色から4個の色の重複順列のうちの1つ（4096通りのうちの1つ）をあてるものであり、英国のインビクタ社から現在もボードゲームとして発売されている（図1-6）。



図 1-6 市販されている Mastermind 課題

このゲームは、色の変わりに数字や形を用いるものや組み合わせの数の桁数を変更したものなど、様々なバージョンが存在する。いずれも、正解コードを解決者がを見つけるために必要な情報が常に呈示され、論理的に問題空間が決定しその分析が可能な完全情報問題(田中, 1996)である。

このゲームにおいて、論理的に最適な解決方法である最小試行回数で正解コードを当てるための最適戦略はどのような質問コード系列であるのか、についてはゲーム研究者や人工知能研究者の関心が持たれてきた(Knuth, 1977; Irving, 1979)。現在では、Koyama & Lai(1994)によってオリジナルな Mastermind 課題について、コンピュータが解決者となった場合の最適戦略が解明されている。また、問題解決研究におけ

る実験課題として、簡易版のものが利用されている(河本・福島, 1989; Laughlin, Lange & Adamopoulos, 1982; 米川, 1991)。

3桁版 Mastermind 課題のプレー内容					4桁版 Mastermind 課題のプレー内容				
ゲーム開始：入力して下さい					ゲーム開始：入力して下さい				
stp	code	cp	cc	lgame	stp	code	cp	cc	lgame
1	WWW				1	RRYY			
		1	0					0	2
2	YYY				2	YYGG			
		1	0					2	0
3	RRR				3	YGRR			
		0	0					3	0
4	GYW				4	YGGG			
		1	2					3	0
5	WYG				5	RRYY			
		3	0					0	2
					6	YGGR			
								4	0

図 1-7 3桁版・4桁版 Mastermind 課題のプレー内容

注) ゲームソフトによって生成された正解コードは 3 桁版 WYG, 4 桁版 YGGR である。ゲーム参加者は、試行ごとに質問コードを入力し、位置と色情報が共に一致している数(cp), 色のみ一致している数(cc)をフィードバックとして受け取る。正解コードと質問コードが一致したらゲームは終了する。

本研究では 4 色 (R: 赤, G: 緑, Y: 黄, W: 白) を用いる簡易版 Mastermind 課題 (図 1-7) 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、解決者が挙げるものを質問コードと呼ぶ。実験課題として、4 色から 2 個とる(2 桁版), 4 色から 3 個とる(3 桁版), 3 色から 4 個とる(4 桁版)の 3 種類の簡易版 Mastermind 課題を利用した。3 桁版は大塚・奥田(1995, 1996, 1997, 1998), 4 桁版は Laughlin et al.(1982)で用いられたものと同様のものである。

図 1-7 は 3 桁版 Mastermind 課題と 4 桁版 Mastermind 課題の解決プロセスの例を各々図示したものである。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 とする時、フィードバック情報として $k(\text{cp: correct position})$ と $j-k(\text{cc: correct color})$ の値を返す。図 1-7 の例では 3 桁版 Mastermind 課題では正解コードは WYG であり cp, cc 値が 3, 0 で終了し、4 桁版では正解コードは YGGR であり cp, cc 値が 4, 0 で終了する。

Mastermind 課題は、解決の際に特定の領域に固有な知識を必要とせず、人間一般が持つ量や順序等に関する基本的な知識とゲームのルールから解を導き出せる課題である(奥田・大塚・井上, 1995)。これまでの問題解決の研究で多く使われてきた問題は、ハノイの塔問題や放射線問題などのように解決のための手がかりとなる情報と解決状態があらかじめ付与されていた。また、ハノイの塔問題ではディスク数が増えることによって解決状態までのディスクの移動回数は増え難易度は増加するが、手がかり情報そのものはディスクが少ない場合も多い場合も変わらない。それに対して、Mastermind 課題の問題解決事態で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プロセスで徐々に提示され、しかもそ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)。

Mastermind 課題における手がかり情報とは、1 ゲーム内における各試行の質問コードとそれに対応した cp 値, cc 値すなわちフィードバック情報をもとに導かれる解決のために有用となる情報のことである。図 1-8 は Mastermind 課題の解決プロセスを図示したものである。

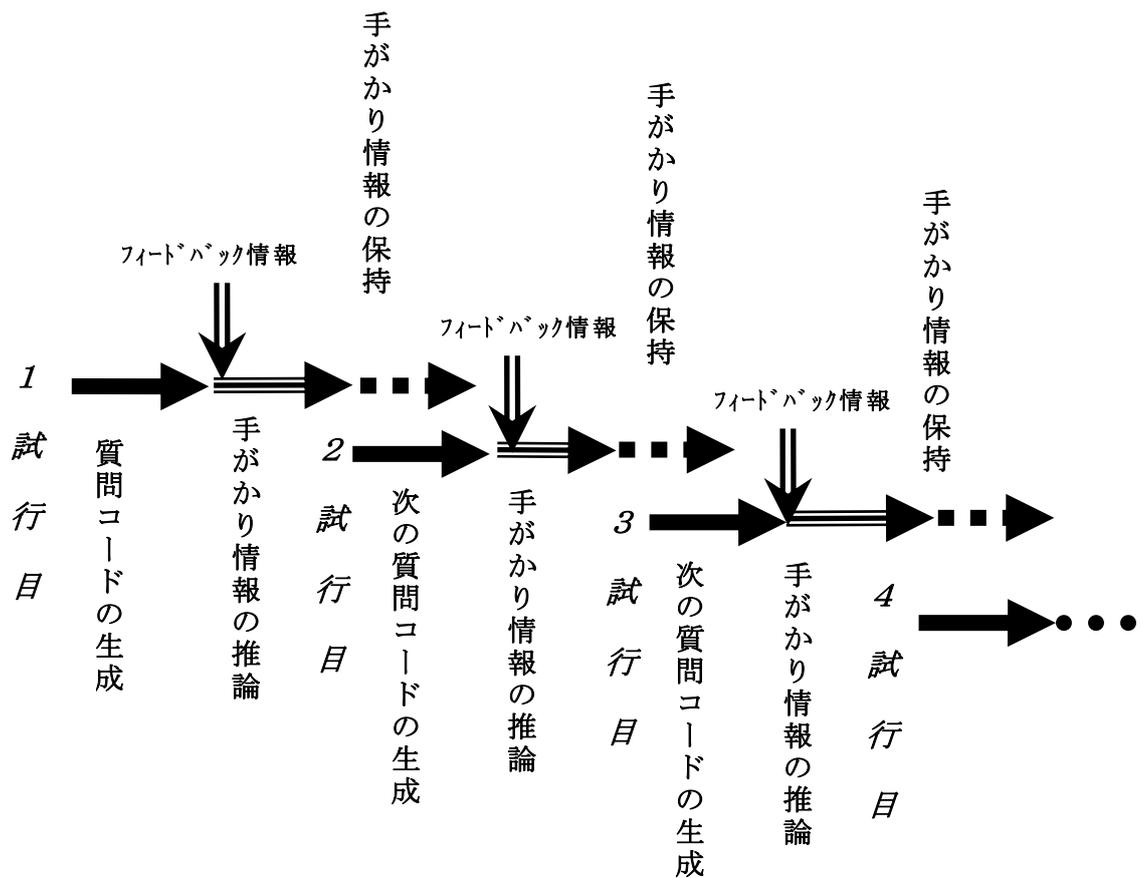


図 1-8 Mastermind 課題の解決プロセス

図 1-8 に示されているように，解決者は解決のための手がかり情報の保持とその情報をもとに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，ワーキングメモリで並列的に行う必要があると考えられる。1 ゲーム中試行を重ねるにつれ，継時的に解決のための情報量は増大していき，ワーキングメモリの処理資源は消費される。

Mastermind 課題分析 Mastermind 課題には論理的なものや，ヒューリスティックなものを含め様々な解法がある(奥田他, 1995)。第 1 試行目以降試行を重ねるごとに質問コードに対するフィードバック情報によって，論理的に解となる質問コードの集合は漸次絞られていく。した

がって、「フィードバック情報によって絞られる正解コードの候補集合の中から次の質問コードを選ぶ」という論理的な推論を仮定することができる。また、「良い質問は、一般に、現在の正解コードの候補集合を多数の候補集合に分割する」と想定される(奥田他, 1995)。これは、フィードバック情報によって絞られた質問コードが少ないほど、次の質問で当たる確率が高くなるためである。

さらに Mastermind 課題では、解決者が第 1 試行目でどのような質問コードをとるかによって課題の認知的負荷は論理的に決定される。3 桁版 Mastermind 課題の場合、第 1 試行目以降の問題空間の広がりも質的に同様になる 3 パターンの質問コードが存在する (表 1-1)。

表 1-1 3 桁版 Mastermind の質問コードパターン

質問コード パターン	個数	質問コード
AAA	4	RRR, GGG, WWW, YYY
ABA AAB BAA	36	RGR, RWR, RYR, RGR, RWR, RYR, WGW, WRW, WYW, YGY, YRY, YWY GGR, GGW, GGY, RRG, RRW, RRY, WWG, WWR, WWY, YYG, YYR, YYW RGG, WGG, YGG, GRR, WRR, YRR, GWW, RWW, YWW, GYY, RYY, WYY
ABC	24	GRW, GWR, RWG, RGW, WGR, WRG GRY, GYR, RGY, RYG, YGR, YRG GWY, GYW, WGY, WYG, YGW, YWG RWY, RYW, YRW, YWR, WRY, WYR

注) AAA パターンは、3 桁とも同じ色の質問コードパターンを意味する。ABA, AAB, BAA パターンは 3 桁のうち 1 桁だけが色が異なり残りの 2 桁は同じ色の質問コードパターンを意味する。ABC パターンは、3 桁すべてが異なる色で構成される質問コードパターンを意味する。

表 1-1 の AAA パターンは、3 桁とも同じ色の質問コードパターンを意味するもので、YYY や RRR といった 4 個の質問コードが存在する。ABA, AAB, BAA パターンは 3 桁のうち 1 桁だけが色が異なり残りの 2 桁は同じ色の質問コードパターンを意味するもので、YRY や GRG と

いった 36 個の質問コードが存在する。ABC パターンは、3 桁すべてが異なる色で構成される質問コードパターンを意味するもので、YRG, RGW といった 24 個の質問コードが存在する。各パターンの第 1 試行目のフィードバック情報に応じた質問コード数をまとめたものが表 1-2 である。

表 1-2 3 桁版 Mastermind 第 1 試行目のフィードバック情報に応じた質問コード数

cp	cc	AAA	AAB	ABC
3	0	1	1	1
2	0	9	9	9
1	2	0	2	3
1	1	0	8	12
1	0	27	17	12
0	3	0	0	2
0	2	0	5	15
0	1	0	14	9
0	0	27	8	1
計		64	64	64

注) AAA, AAB, ABC は第 1 試行目の質問コードパターンを示す。「cp 値, cc 値によって絞られる正解コードの候補集合の中から次の質問コードを選ぶ」という論理的な推論を仮定した場合の質問コード数。

解決者が「フィードバック情報によって絞られる正解コードの候補集合の中から次の質問コードを選ぶ」という論理的な推論を行うと仮定した場合、第 1 試行目を ABC パターンで始める場合は正解の場合を除いて 8 通りの正解コードの候補集合の中からフィードバック情報に応じた正解コードの候補集合の中味を推論しなければならない。同様に AAB パターンの場合は 7 通りの正解コードの候補集合の中から cp 値, cc 値に応じた正解コードの候補集合の中味を推論しなければならない。一方, AAA パターンで始める場合は, cp 値, cc 値によって絞られ

る 3 通りの正解コードの候補集合の中から cp 値, cc 値に応じた候補集合の中味を推論できる。

第 1 試行目を ABC パターンで始めた場合, 解決者は 8 通りの候補集合を走査することが必要となり, 認知的負荷はもっとも大きくなる。反対に, 第 1 試行目を AAA パターンで始めた場合, 解決者は 3 通りの候補集合を走査するだけでよく認知的負荷はもっとも少なくなる。3 桁版 Mastermind 課題の問題空間について, 第 1 試行目以降「cp 値, cc 値に応じた質問コードの候補集合の中から任意の質問コードを選ぶ」という論理的に矛盾しないランダムな試行を想定すると図 1-9 のようなゲームツリーとして分析することが可能である。

表 1-3 3 桁版 Mastermind 課題第 1 試行目各パターンの正解コードに至るまでの論理的平均試行回数

第 1 試行目質問コードパターン	正解コードに至るまでの論理的平均値
AAA	3.9
AAB	3.5
ABC	3.5

このようなゲームツリーをもとに問題空間を分析すると, 第 1 試行目の各パターンの正解に至るまでの平均値は表 1-3 のようになる。AAA パターンの質問コードでゲームを開始することが他の 2 つのパターンで開始するよりも効率が悪いといえる。3 桁版 Mastermind 課題の課題分析から, 第 1 試行目を AAA パターンで始めることは解決者にとってもっとも認知的負荷は低いですが効率はもっとも悪く, 反対に第 1 試行目を ABC パターンで始めることは解決者にとってもっとも認知的負荷は高いが効率は良いといえる。

第1試行目 YYY cp 値 cc 値 20 の場合のゲームツリー

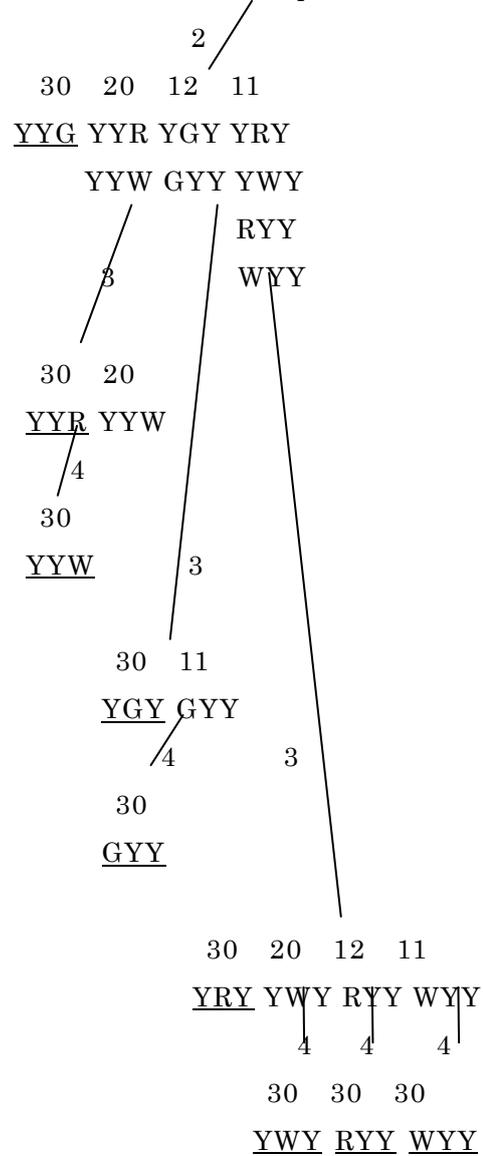


図 1-9 ゲームツリーの例

注) 解決者が正解コードの候補集合の中から任意に下線の質問コードを選択したと仮定。30, 12 等は cp 値, cc 値。線横の数値は下線の質問コードにいたるまでの試行回数。

4桁版 Mastermind 課題については、Laughlin et al.(1982)において同様の課題分析が行われている。4桁版においては、第1試行目以降の問題空間の広がりが質的に同様になる4パターンの質問コードが存在する(表1-4)。4桁版 Mastermind 課題の各質問コードパターンにおける第1試行目のフィードバック情報に応じた質問コード数をまとめたものが表1-5である。4桁版 Mastermind 課題の問題空間においても「cp値、cc値に応じた質問コードの候補集合の中から任意の質問コードを選ぶ」という論理的に矛盾しないランダムな試行を想定した Laughlin et al.(1982)の分析によれば、第1試行目の各パターンの正解に至るまでの平均値は表1-6のようになる。

表 1-4 4桁版 Mastermind 課題の質問コードパターン

質問コード パターン	個数	質問コード
AAAA	3	YYYY, RRRR, GGGG
AAAB	24	YYR, GGGR, YYG, GGGY, RRRY, RRRG YYRY, GGRG, YGY, GGYG, RRYR, RRGR YRY, GRGG, YGY, GYGG, RYRR, RGRR RYYY, RGGG, GYYY, YGGG, YRRR, GRRR
AABB	18	YRR, YGG, RRGG, RRY, GR, GY YRY, YGG, RYR, RGGR, GYG, GRRG YRY, YGY, RYR, RGRG, GYG, GRGR
ABCA	36	YRY, YGR, RYGR, RYR, GYR, GYR, GRY YRY, YGR, RRY, RRY, GYR, GRY RYR, GRY, YGR, GYR, YRG, RYGG, RYGG RYR, GYR, YRR, GRY, YGG, RGGY YRY, YGR, RYR, RGRY, GYR, GRY RYR, GYR, YRR, GRY, YGR, RYR

4桁版 Mastermind 課題においては、第1試行目を AAAA パターンで始めることは解決者にとってもっとも認知的処理要求は低い効率はもっとも悪く、反対に第1試行目を AABB パターン若しくは ABCA パ

ターンで始めることは解決者にとってもっとも認知的処理要求は高いが効率は良いといえる(Laughlin et al., 1982)。

表 1-5 4桁版 Mastermind 課題第1 試行目の評価値に応じた質問コード数

cp	cn	AAAA	AAAB	AABB	ABCA
4	0	1	1	1	1
3	0	8	8	8	8
2	2	0	3	4	5
2	1	0	6	8	10
2	0	24	15	12	9
1	3	0	0	0	4
1	2	0	9	12	18
1	1	0	12	16	8
1	0	32	11	4	2
0	4	0	0	1	2
0	3	0	0	4	8
0	2	0	7	6	6
0	1	0	8	4	0
0	0	16	1	1	0
計		81	81	81	81

表 1-6 4桁版 Mastermind 課題第1 試行目各パターンの正解コードに至るまでの論理的平均試行回数

第1 試行目質問コードパターン	正解コードに至るまでの論理的平均値
AAAA	4.7
AAAB	4.1
AABB	4.0
ABCA	4.0

Mastermind 課題の解決方略 Mastermind 課題は柔軟なフィードバック情報を持つ概念達成課題と考えられる。先行の概念学習の研究から、Mastermind 課題の主要な解決方略として、焦点(focusing)方略と戦術 (tactical) 方略が挙げられる(Bruner, Goodnow, & Austin, 1956; Laughlin et al, 1982; 奥田他, 1995)。

焦点方略は、まず色という属性に焦点を当て、正解にはどの色が含まれるかについて推論を進めていく。この方略を利用する場合、第1試行目は AAAA, AAA パターンとなる。上述したようにこれはもっとも認知的負荷が少ない方略であるが効率は悪い。しかし、ゲームの初心者は少ない回数で正解を見つけることよりも、まず正解を見つけることに傾注するためこの方略を用いる場合が多い(大塚・奥田, 1999)。戦略方略は、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あり、第1試行目が ABC, ABCA パターンで始まる。この方略の効率はもっとも良いが、認知的負荷はもっとも高くなる。

実際、解決者は初めてゲームを行う場合、このように質問コードによって解決効率が異なることや認知的負荷が異なることには気づいていないことが多いと思われる。しかし、ゲームを重ねるにつれて焦点方略に気づくことは多く観察される。また、ABC, ABCA パターンで始めると認知的負荷が高くなることに気づくことも観察される(大塚・奥田, 1999)。

また、Mastermind 課題は第1試行目にどのような質問コードを選ぶかで論理的な問題空間は定まるが、紙や鉛筆といった筆記用具を利用しない限りは完全に問題空間を推測することは不可能で、様々なヒューリスティックスを用いて解決にあたっていると考えられる。

従属変数 本実験課題の解決プロセスを分析するにあたり、試行回数、解決ゲーム数、質問コード重複回数の3つの従属変数を用いた。試行回数とは、各ゲームにおいて、参加者が正解コードに至るまでの質問コード数であり、この課題の成績をあらわす標準的指標である。解決ゲーム数は、参加者が各実験条件において解決できたゲーム数である。

本研究で利用した簡易版 Mastermind 課題は、研究 1, 2 においては 1 ゲーム中 10 試行までという制限があり、研究 3 では 1 ゲーム中 15 試行までという制限があった。そのために、1 ゲーム中における制限試行以上の試行は、すべて 10 試行若しくは 15 試行に切り詰められた結果となる。この点を補うために、参加者のパフォーマンスを測定する指標として 1 ゲームを制限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。図 1-7 の 4 桁版 Mastermind 課題における 5 試行目は、1 試行目と同じ質問コードを利用している。このように 1 ゲーム中、解決者が一度利用した質問コードを再度利用した回数を質問コード重複回数とした。

試行回数と解決ゲーム数は、Mastermind 課題の解決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唆する標準的な指標として利用した。質問コード重複回数は、Mastermind 課題の解決プロセスにおいて、解決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、質問コード重複回数は、解決者が本実験課題の問題解決プロセスにおいて、情報の保持を適切に行っていたかを示唆する指標として利用した。

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 R S T は、有益な研究道具として広く使われている(齊藤・三宅, 2000)。R S T は次々と呈示される文を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銘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る、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・苧阪, 1999)。

日本語版RSTの標準的な実施手続きは、以下の通りである。例えば2文条件では次のような2文が、それぞれ1枚のカードに印字されて順に呈示される。この時、参加者が様々な記銘方略を使うのを妨げるために、文と文の間に一切ポーズを入れないように注意が払われる。

“それは、ゆれながら水銀のように光って上に上がりました。”

“二人の子供が、青い湖のそばで遊んでいました。”

この2文に続いて白紙のカードが呈示され、それを合図に参加者は刺激文中に下線をひいて示してあるターゲット語を再生する。ただし、親近性効果を考慮してリスト最後の単語を最初に再生することはしないように教示される。採点の際には再生の順序は考慮されない。文条件では上記のような2文条件から、5つの文から構成され5つの単語の再生を求められる5文条件まであり、それぞれの条件につき5セットが用意されている。まず、2文条件から開始され、通常記憶範囲実験と同じように、2文条件をクリアすると3文条件へ、というように次々と昇順で進んでいく。試行はある文条件で3セット以上再生できなくなるまで続き、2セット以下しか再生できない時点で打ち切る場合と5文条

件まで各文条件の再生数に関係なく続ける場合がある。なお、本研究では、PCを用いて、刺激文の呈示を行った。

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プロセスは数多いため、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、参加者のワーキングメモリ容量の測定には、日本語RST(苧阪, 2002; 苧阪・苧阪, 1994)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とりあげる。日本語RST(苧阪, 2002; 苧阪・苧阪, 1994)については、その信頼性、妥当性、及び得点化方法についても英語版RSTと同等であることが報告されている(大塚・宮谷, 2007b)。

RSTの得点化方法としてスパン得点と総正再生数を利用した。総正再生数は、すべての試行を通して正しく再生できたターゲット語数であり、最大70である。スパン得点は、各文条件で5セット実施する場合、正再生数が3以上の場合その文条件をクリアしたとしてその文条件数を得点とし、正再生数が2の場合はクリアした文条件に0.5を加算した得点とし、正再生数が1以下の場合には得点は与えられないものとする方法である。

R S Tの他にも、課題の遂行と情報の保持が要求されるワーキングメモリスパン課題として様々なものが考案されている。例えば、文とそこに含まれるターゲットが聴覚的に呈示され、聴取しながらターゲット語を覚えるというリスニングスパン・テスト(Daneman & Carpenter, 1980)、カード内のドットの数をかぞえながらその数を覚えておくという計数スパン(counting span, Case, Kurland, & Goldberg, 1982)、計算課題を行いその解答部分を覚えておくというオペレーションスパン(operation span, Turner & Engle, 1989)、また心的回転(mental rotation)を行い、回転すべき文字の頭の部分の方向を覚えておくという空間スパン(spatial span, Shah & Miyake, 1996)等がある。R S Tと同様に、このような他のワーキングメモリスパン課題もワーキングメモリ研究の有益な研究道具として広く利用されている (Miyake, 2001; Saito & Miyake, 2004)。

GP 分析法

本研究では、ワーキングメモリ容量によって群分けを行い実験課題のパフォーマンスを比較するというG P分析法を用いる。この手法は、ワーキングメモリスパン課題のパフォーマンス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異なる参加者が、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)。ワーキングメモリ課題の得点によって群分けを行う場合は、例えば上位 25%下位 25%といった範囲(extreme-group)で参加者を

分類する (Conway, Kane, Bunting, Hambrick, Wilhelm, & Engle, 2005; Friedman & Miyake, 2004)ことが推奨されている。GP 分析法においてもこのような範囲で参加者を分類する手法は、エクストリーム分析と呼ばれている (Conway et al., 2005; Friedman & Miyake, 2004)。本研究においては、主にこのエクストリーム分析という手法を用いる。

第2章 ワーキングメモリ容量と外的制約が 問題解決に及ぼす影響

第1節 ワーキングメモリ容量と問題空間が問題解決に及ぼす影響（研究1）

問題解決プロセスは問題空間内における探索プロセスとしてとらえられる(Newell & Simon, 1972)。したがって、同一の操作子及び操作子制約条件のもとでは、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プロセスにおいて、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。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関わらず、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。

我々は、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我々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、研究 1 では問題解決における課題に由来する外的な制約要因として、問題空間の大きさという要因をとりあげる。

方法

参加者 大学生 28 名（男性 18 名，女性 10 名），平均年齢 20.8 歳（範囲：20—22 歳）。すべての参加者は P C の操作に関して 6 か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，過去にこの簡易版 Mastermind 課題を行った経験のある参加者はいなかった。

実験課題 2 桁版，3 桁版及び 4 桁版 Mastermind 課題。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，自動的に参加者のゲームごとの，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。参加者は P C (NEC PC-9821Ld)上でゲームを行った。

実験中，参加者はメモや筆記具を利用することはできず，また図 1-7 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 ゲーム中参加者は 10 試行まで可能であった。10 試行目においても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(苧阪, 2002; 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。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試行だけ正解の時は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も、5文条件まで測定を行った。

実験計画 スパン×問題空間の混合計画を用いた。第1要因は参加者間変数で後述する方法で分類した。第2要因は参加者内変数で、2桁版、3桁版、4桁版各Mastermind課題の3条件であった。

手続き まず参加者全員に対して、RSTが行われた。後日、参加者は2桁版、3桁版、4桁版のMastermind課題を個別に行った。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 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、標準偏差(*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以上の参加者群、3.0及び3.5の参加者群、2.5以下の参加者群に分け、各群の人数、平均値、標準偏差を示したものが表2-1である。

表 2-1 参加者のRSTの平均値と標準偏差 (研究1)

スパン	<i>M</i>	<i>n</i>	<i>SD</i>
4.0以上	4.57	7	0.53
3.0及び3.5	3.14	7	0.24
2.5以下	2.14	14	0.23
全体	3.00	28	1.06

参加者の分類 R S Tの結果からスパン得点上位 25%の参加者 7 名を高スパン群に，スパン得点下位 25%の参加者 7 名を低スパン群に振り分けた。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 名の参加者をランダムに割りあてた。

試行回数 図 2-1 は，各群の平均試行回数を図示したものである。

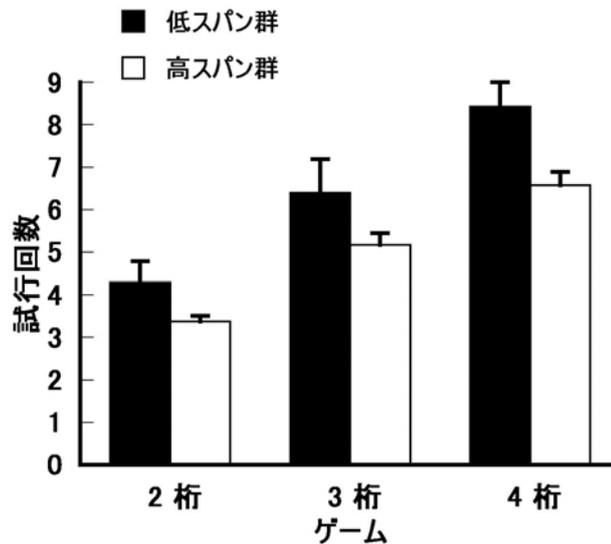


図 2-1 各群の試行回数の平均値と標準誤差(研究 1)

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

意差がみられ、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 図 2-2 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、高スパン群の参加者は低スパン群の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。

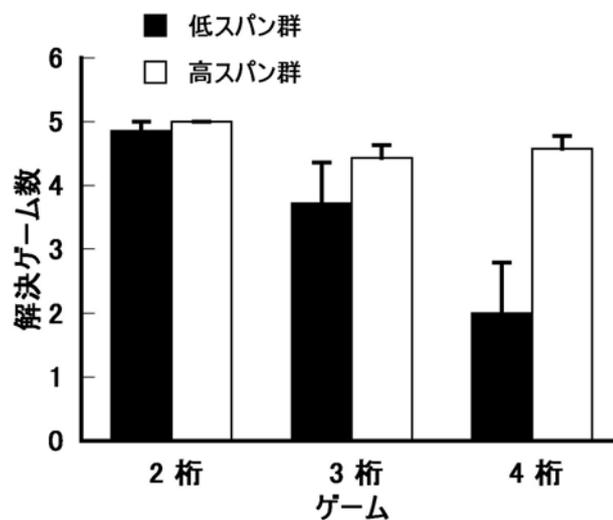


図 2-2 各群の解決ゲーム数の平均値と標準誤差(研究 1)

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%水準で有意差がみられ、2桁版 > 3桁版、2桁版 > 4桁版、3桁版 > 4桁版であった。

質問コード重複回数 参加者の5ゲームにおける質問コード重複回数の平均値を、その桁における重複回数とした。図2-3は、各群の平均重複回数を図示したものである。平均重複回数に対し、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%水準で有意差がみられ、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 ($F(2,24)=1.68, ns$)。

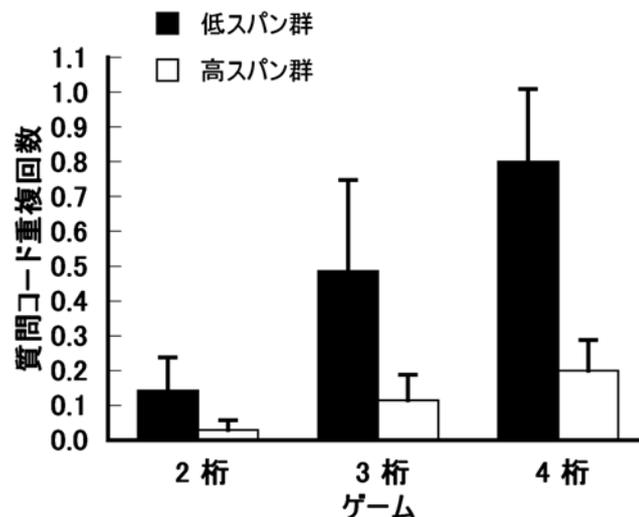


図 2-3 各群の質問コード重複回数の平均値と標準誤差(研究 1)

考察

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参加者は低スパン群の参加者よりも試行回数が少なかった。これは、高スパン群の参加者が、低スパン群の参加者に比べ、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プロセス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。低スパン群の参加者で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みられたことを示す結果である。

質問コード重複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。高スパン群の参加者は、問題解決プロセス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回数の分析において交互作用はみられなかった。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。

以上の研究 1 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。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の制約が大きいほど顕著にみられると考えられる。

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。

研究 1 では、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みられた。この結果は、問題解決における処理負荷や記憶負荷の影響は、解決者に一様なものではなく、ワーキングメモリ容量の個人差によって異なる(苧阪, 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パフォーマンス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、ワーキングメモリ容量の影響を規定する外的制約要因として、問題空間という課題に由来する要因が重要であることが本研究結果から示唆される。

第2節 ワーキングメモリ容量と外的表象が問題解決に及ぼす影響（研究2）

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)、事例 (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は行われている。本研究ではゲーム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。ゲーム履歴とは、図 1-7 に示されるような試行ごとの質問コードと cp 値、cc 値である。ゲーム履歴は簡易版 Mastermind 課題において、重要な外的表象であることが報告されている (大塚・宮谷, 2008)。このディスプレイ上の自己産出的なゲーム履歴という外的表象の有無による認知的負荷の違いが、簡易版 Mastermind 課題の解決プロセスに及ぼす影響を検討することが研究 2 の目的である。

研究 2 ではゲーム履歴を操作することで 3 桁版 Mastermind 課題の難易度を 2 段階に分けた。具体的には、図 1-7 のゲーム事態と同様に、質問コードとフィードバック情報がディスプレイ上で参照可能なゲーム履歴有条件と、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いゲーム履歴無条件を設定することで 3 桁版 Mastermind 課題の記憶負荷を操作した。また、3 桁版 Mastermind 課題は、利用する方略によっても課題の記憶負荷は異なってくるので、参加者が利用した方略の分析も行った。

記憶負荷の高い問題解決事態であるゲーム履歴無条件では、問題解決プロセスにおけるパフォーマンスの低下が生じ、ゲーム履歴有条件に比べパフォーマンスが低下すると予想される。しかし、両条件下でのパフォーマンスは、スパンの個人差を反映することが予想される。すなわち、ゲーム履歴無条件において高スパン得点者に比べ低スパン得点者のパフォーマンスの低下が顕著であると予想される。

方法

参加者 短期大学生 143 名（男性 40 名，女性 103 名），平均年齢 19.3 歳（範囲：18—21 歳）。すべての参加者は P C の操作に関して 6 か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 3 桁版 Mastermind 課題を行った経験のある参加者はいなかった。

実験課題 3 桁版 Mastermind 課題。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。参加者は P C (NEC PC-9821EX2)上でゲームを行った。実験中，参加者はメモや筆記具を利用することはできなかった。実験にはゲーム履歴有版 Mastermind 課題とゲーム履歴無版 Mastermind 課題を実験課題として用いた。正解コードはランダムに選ばれ，1 ゲーム中参加者は 10 試行まで可能であった。10 試行目においても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。

R S Tの測定 R S Tは、苧阪・苧阪(1994)によって開発された日本語版R S T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。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試行だけ正解の時は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×ゲーム履歴の混合計画を用いた。第1要因は参加者間変数で、第2要因は参加者内変数でゲーム履歴有条件及びゲーム履歴無条件であった。第1要因は、後述する方法でスパンによって参加者を振り分けた。

手続き まず参加者全員に対して、R S Tが行われた。次に参加者は、ゲーム履歴有条件・無条件下で1ゲームずつ練習ゲームを行った後、各条件下で5ゲームを行った。71名の参加者がゲーム履歴有条件5ゲーム、無条件5ゲームの順で行い、残り72名の参加者が逆の順序で行った。

結果

R S T 参加者143名のスパンの最小値は1.5、最大値は5.0であり、平均値は2.30、*SD*は0.62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以上の参加者群、3.0及び3.5の参加者群、2.5以下の参加者群に分け、各群の人数、平均値、標準偏差を示したものが表2-2である。

表 2-2 参加者の RST の平均値と標準偏差 (研究 2)

スパン	<i>M</i>	<i>n</i>	<i>SD</i>
4.0 以上	4.67	6	0.52
3.0 及び 3.5	3.11	14	0.21
2.5 以下	2.08	123	0.20
全体	2.30	143	0.62

方略の判定 3桁版 Mastermind 課題において、手がかり情報の保持と解の推論のための並列的な情報処理の量をもっとも多くなるのは、参加者にとって記憶負荷の高くなる戦術方略（第 1 試行目が YRG, GYRG といったすべての色を使った質問コードパターンとなる）を利用した場合である。したがって、本実験で行った記憶負荷の操作の影響を検討するためには、ワーキングメモリにおける情報の保持と処理という並列的な処理をもっとも必要とされ、記憶負荷の高い方略である戦術方略利用時の参加者のパフォーマンスを分析する必要がある。そこで、ゲーム履歴有無両条件下で戦術方略を利用した参加者 105 名を抽出し、戦術方略利用時の 3桁版 Mastermind 課題の遂行結果について分析を行った。表 2-3 は、ゲーム履歴有無両条件下で戦術方略を利用した参加者の人数を、スパン群ごとにまとめたものである。表 2-4 は、ゲーム履歴有無両条件下で戦術方略を利用した参加者のスパン群ごとの人数及びスパンの平均値と標準偏差を示したものである。

表 2-3 戦術方略をゲーム履歴有無両条件下で利用した参加者の人数 (研究 2)

ゲーム履歴	スパン	戦術方略利用回数				
		5	4	3	2	1
有	4.0以上	6	0	0	0	0
	3.0及び3.5	9	2	1	0	0
	2.5以下	82	3	2	0	0
無	4.0以上	6	0	0	0	0
	3.0及び3.5	9	3	0	0	0
	2.5以下	73	9	2	1	2

注) 各条件とも スパン 4.0 以上 $n=6$, 3.0 及び 3.5 $n=12$, 2.5 以下 $n=87$ である。

表 2-4 戦術方略をゲーム履歴有無両条件で利用した参加者の RST の平均値と標準偏差 (研究 2)

スパン	<i>M</i>	<i>n</i>	<i>SD</i>
4.0 以上	4.67	6	0.52
3.0 及び 3.5	3.08	12	0.19
2.5 以下	2.10	87	0.21
全体	2.36	105	0.69

参加者の分類 RSTの結果からスパン得点上位の参加者 10 名を高スパン群に，スパン得点下位の参加者 10 名を低スパン群に振り分けた。高スパン群のスパン得点平均値は 4.10，*SD* は 0.84 であり，低スパン群のスパン得点平均値は 1.95，*SD* は 0.16 であった。高スパン群では 4 名の参加者がゲーム履歴有条件，無条件の試行順で行い，6 名の参加者がその逆の試行順でゲームを行った。低スパン群では，5 名の参加者がゲーム履歴有条件，無条件の試行順で行い，5 名の参加者がその逆の試行順でゲームを行った。

試行回数 図 2-4 は，各群の平均試行回数を図示したものである。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傾向($F(1,18)=4.36$, $p < .10$)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い傾向があった。ゲーム履歴要因($F(1,18)=1.95$, *ns*)，2 要因の交互作用($F(1,18)=.31$, *ns*)は，有意でなかった。

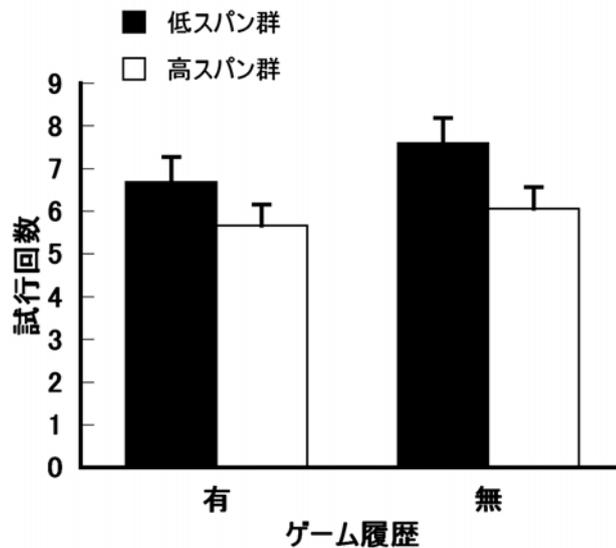


図 2-4 各群の試行回数の平均値と標準誤差(研究 2)

解決ゲーム数 図 2-5 は、各群の平均解決ゲーム数の平均値を図示したものである。各群の平均解決ゲーム数の平均値に対し、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($F(1,18)=11.51, p < .01$)であり、高スパン群の平均解決ゲーム数は低スパン群の平均解決ゲーム数より多かった。問題空間要因の主効果($F(1,18)=2.35, ns$)、2 要因の交互作用($F(1,18)=2.35, ns$)は、有意でなかった。

質問コード重複回数 図 2-6 は、各群の平均質問コード重複回数を図示したものである。平均重複回数に対し、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($F(1,18)=1.64, ns$)は有意でなかった。ゲーム履歴要因の主効果が有意傾向 ($F(1,18)=3.08, p < .10$)であり、ゲーム履歴有条件の重複回数はゲーム履歴無条件に比べ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 ($F(1,18)= .37, ns$)。

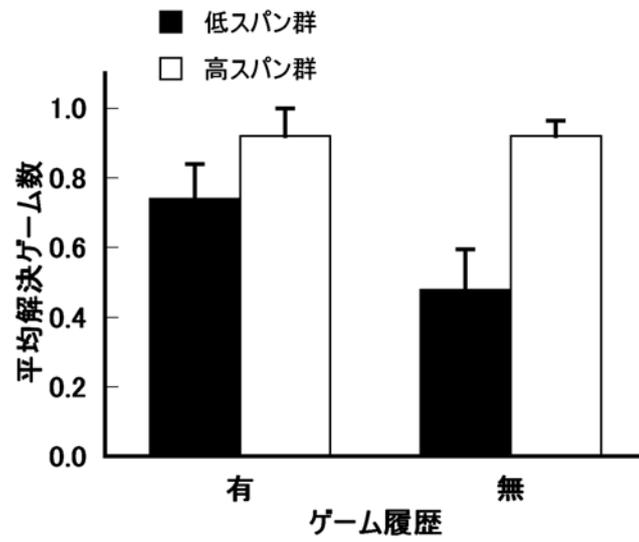


図 2-5 各群の平均解決ゲーム数の平均値と標準誤差(研究 2)

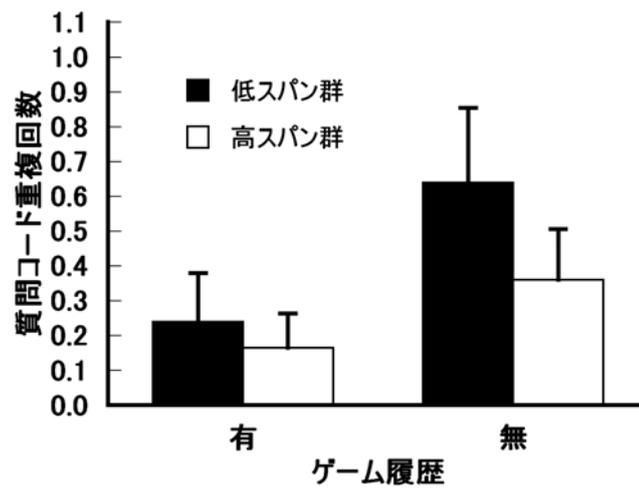


図 2-6 各群の質問コード重複回数の平均値と標準誤差(研究 2)

中位群を含めた分析 研究 2 のエクストリーム分析では、スパン要因の主効果とゲーム履歴要因の主効果はあったが、2 要因の交互作用はなかった。研究 2 では、ゲーム履歴要因によってワーキングメモリ容量の影響は異なるのかについて検討することが目的であった。そこで、スパン中位群も含めた分析を行った。ゲーム履歴有・無条件において戦術方略を利用した 105 名の参加者を、R S Tの結果をもとにスパン得点が 3.0 以上の参加者群(スパン得点 3.0 以上群)とスパン得点が 2.5 以下の参加者群 (スパン得点 2.5 以下群) の 2 群に分類した。スパン得点 3.0 以上群は 18 名であり、スパンの平均値は 3.61, *SD* は 0.83 であった。スパン得点 2.5 以下群は 87 名であり、スパンの平均値は 2.10, *SD* は 0.21 であった。スパン得点 3.0 以上群では 8 名の参加者がゲーム履歴有条件, 無条件の試行順で行い, 10 名の参加者がその逆の試行順でゲームを行った。スパン得点 2.5 以下群では, 41 名の参加者がゲーム履歴有条件, 無条件の試行順で行い, 46 名の参加者がその逆の試行順でゲームを行った。

試行回数 (中位群含) 図 2-7 は, 各群の平均試行回数を図示したものである。平均試行回数に関する, スパン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果, スパン要因の主効果($F(1,103)=4.72, p < .05$), ゲーム履歴要因の主効果($F(1,103)=14.82, p < .01$)が有意であった。2 要因の交互作用は有意傾向($F(1,103)=3.44, p < .07$)であったが, 本研究の検討対象であるスパン個人差とゲーム履歴要因の関連を詳細に調べるために, 各要因の単純主効果の検定を行った。その結果, ゲーム履歴無条件においてスパン要因の単純主効果が有意($F(1,206)=8.09, p < .01$)であり, ゲーム履歴無条件においてスパン得点 3.0 以上群の平均試行回数はスパン得点 2.5 以下群よりも少なかった。また,

スパン得点 2.5 以下群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意 ($F(1,103)=16.27, p < .001$)であり，スパン得点 2.5 以下群は，ゲーム履歴有条件の平均試行回数がゲーム履歴無条件よりも少なかった。

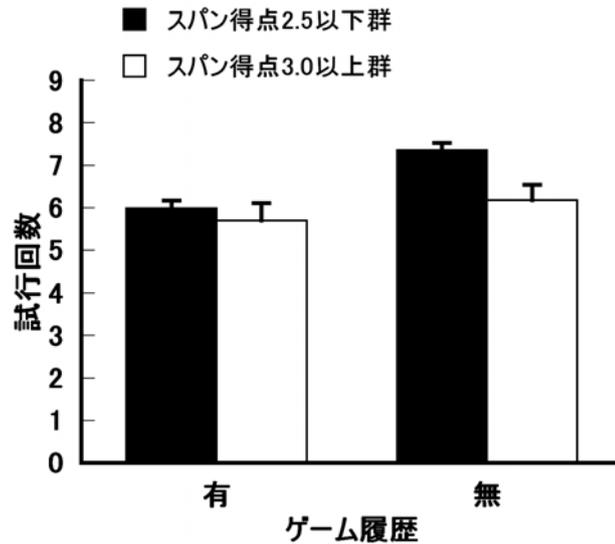


図 2-7 各群の試行回数（中位群含）の平均値と標準誤差(研究 2)

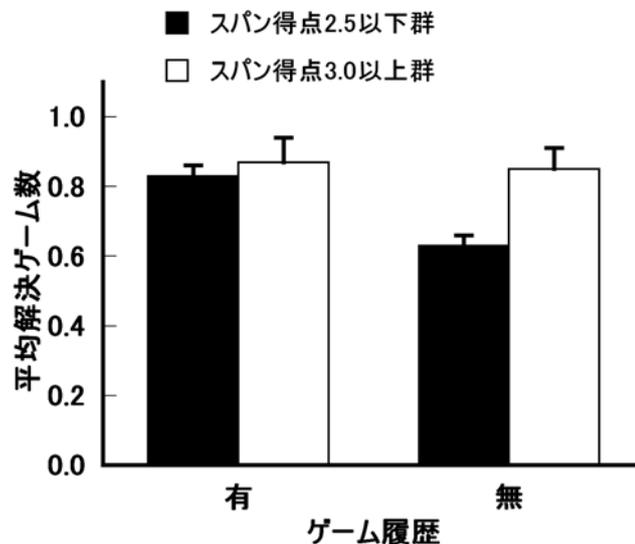


図 2-8 各群の平均解決ゲーム数(中位群含)の平均値と標準誤差(研究 2)

解決ゲーム数（中位群含） 図 2-8 は、各群の平均解決ゲーム数を図示したものである。平均解決ゲーム数に対し、スパン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果、スパン要因の主効果($F(1,103)=4.85, p < .05$)、ゲーム履歴要因の主効果($F(1,103)=6.41, p < .05$)、2 要因の交互作用($F(1,103)=4.32, p < .05$)が有意であった。各要因の単純主効果の検定の結果、ゲーム履歴無条件においてスパン要因の単純主効果が有意($F(1,206)=9.07, p < .01$)であり、ゲーム履歴無条件においてスパン得点 3.0 以上群の平均解決ゲーム数はスパン得点 2.5 以下群よりも多かった。また、スパン得点 2.5 以下群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意($F(1,103)=10.63, p < .001$)であり、スパン得点 2.5 以下群は、ゲーム履歴有条件の平均解決ゲーム数がゲーム履歴無条件よりも多かった。

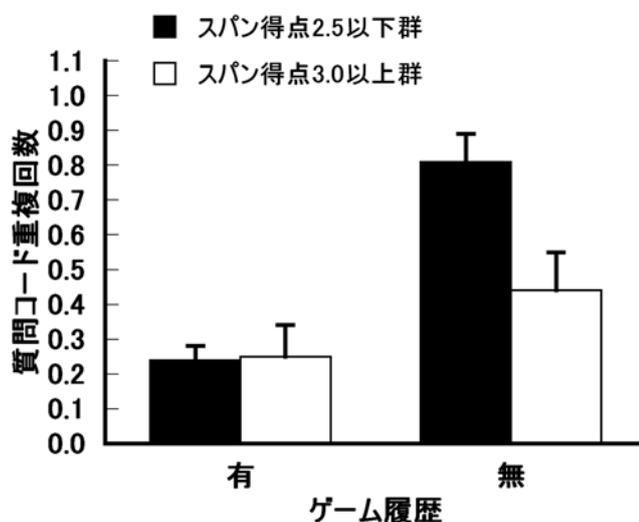


図 2-9 各群の質問コード重複回数(中位群含)の平均値と標準誤差(研究 2)

質問コード重複回数（中位群含） 図 2-9 は、各群の平均質問コード重複回数を図示したものである。平均質問コード重複回数に関する、ス

パン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果，ゲーム履歴要因の主効果($F(1,103)=20.38, p < .001$)，2 要因の交互作用($F(1,103)=4.89, p < .05$)が有意であった。スパン要因の主効果はみられなかった($F(1,103)=2.43, ns$)。各要因の単純主効果の検定の結果，ゲーム履歴無条件においてスパン要因の単純主効果が有意($F(1,206)=6.62, p < .05$)であり，ゲーム履歴無条件においてスパン得点 3.0 以上群の平均質問コード重複回数はスパン得点 2.5 以下群よりも少なかった。また，スパン得点 2.5 以下群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意($F(1,103)=22.63, p < .001$)であり，スパン得点 2.5 以下群は，ゲーム履歴有条件の平均質問コード重複回数がゲーム履歴無条件よりも少なかった。

考察

研究 2 では，高スパン群(スパン上位 10 名)と低スパン群(スパン下位 10 名)に参加者を分類して分析した結果，スパン要因の主効果が試行回数で有意傾向，解決ゲーム数で有意であり高スパン群のパフォーマンスが低スパン群に比べすぐれていた。しかし，すべての従属変数で交互作用は有意ではなく，ゲーム履歴の有無によるワーキングメモリ容量の影響の違いはなかった。ところが，中位群も含めた全参加者をスパン得点 3.0 以上群とスパン得点 2.5 以下群に分けて分析すると，交互作用が試行回数では有意傾向，解決ゲーム数，質問コード重複回数で有意となり，いずれもゲーム履歴が無い条件で，スパン得点 2.5 以下群のパフォーマンスがスパン得点 3.0 以上群よりも悪かった。これは，研究 2 において戦術方略を利用した参加者のワーキングメモリ容量に関する中位群

が、ゲーム履歴の有無の影響をもっとも受けやすかったことを示唆している。

スパン中位群を含む分析結果は、スパン得点 2.5 以下群はゲーム履歴無条件という難易度の高い問題解決課題において、ワーキングメモリ資源の効率的な分配ができず、パフォーマンスの低下につながったことを示唆している。また、スパン得点 2.5 以下群はワーキングメモリ容量の制約から手がかり情報の保持が困難であり、パフォーマンス低下の一因となったことが質問コード重複回数の分析から推測される。こういったスパン得点は 2.5 以下であるが、参加者全体において中位群に位置付けられる参加者がゲーム履歴の影響を受けていたという結果は、研究 2 で得られたユニークな結果である。

研究 2 では、スパン得点 3.0 以上群に外的表象の影響はみられなかった。スパン得点 3.0 以上群はゲーム履歴という外的表象が利用できない場合においても、パフォーマンスの低下がおこらないように外的表象の不足を補っていたことが推測される。我々が日常行う高次の認知活動は、内的表象と外的表象に交互に注意を向けながら繰り返されている(三宅, 2000)。スパン得点 3.0 以上群が外的表象を利用できない場合においても、内的表象の処理資源であるワーキングメモリ資源を適切に制御することで外的表象の不足に対応していたことを示唆する結果である。

問題解決においてどのような方略を選択し用いるかといった方略の制御は、ワーキングメモリの制御機能(三宅・齊藤, 2001)とも関連する重要な要因の 1 つであると思われる。本研究では方略は実験的に統制されず、参加者の自発的な戦術方略利用時の問題解決プロセスを探索的に

分析したものであった。また、記憶負荷を操作した外的表象も有るか無いかという 2 段階のみであった。さらに、スパン得点 3.0 以上群の参加者数とスパン得点 2.5 以下群の参加者数もアンバランスであった。このような点に関して厳密な実験的統制をした研究は、今後の検討課題である。

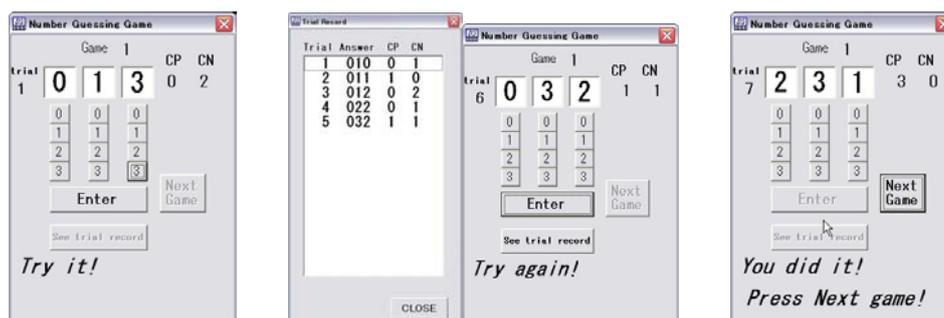
第 3 節 ワーキングメモリ容量と外的表象の利用が問題解決に及ぼす影響（研究 3）

研究 2 では、ディスプレイ上のゲーム履歴の有無という外的表象による認知的負荷の違いと、ワーキングメモリ容量が問題解決に及ぼす影響について検討した。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パフォーマンスが向上することが示唆された。しかし、研究 2 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、いつ、どの程度利用されたのかといったことについてはあきらかにされていない。

問題解決においては、紙とペンによる自己産出的な外的表象がしばしば利用される(Cary & Carlson, 1999, 2001)。しかし、研究 3 では、ディスプレイ上の自己産出的なゲーム履歴を外的表象としてとりあげる。これは、外的表象の利用・非利用によって解決プロセスは異なるのか、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

そのものが解決プロセスとパフォーマンスに及ぼす影響について検討するためである。

本研究では、外的表象によってワーキングメモリ容量の不足は補填されるのか、また、ワーキングメモリ容量の個人差によって外的表象の利用程度や解決プロセスは異なるのか、そもそも外的表象の利用はどの程度パフォーマンスに有効な影響を及ぼすのか、といった点について検討することを目的とする。また、高スパン群と低スパン群間のパフォーマンスに、ワーキングメモリの処理資源だけでなく短期記憶成分も関連しているのかどうかについて検討するために、短期記憶スパンとしてデジットスパンとワードスパンの測定を行った。



ゲーム開始時

履歴ボタンと履歴ウィンドウ

ゲーム終了時

図 2-10 研究 3 で用いた実験課題の例

実験課題 研究 1, 2 で利用した簡易版 Mastermind 課題では、各桁の属性である R (赤), Y (黄), G (緑) は、その示す色が入力するアルファベットの色 (白) と一致しなかった。研究 3 では、それを避けるために、各桁の属性を 0, 1, 2, 3 という数字とし、この 4 種の数字からなる 3 桁の順列を当てるという課題に変更した。また、研究 3 では、外的表象の自発的利用や利用程度についても検討を行うため、図

2-10 に示す実験課題に変更した。ただし、この実験課題の問題空間は、3桁版 Mastermind 課題と同一であり、各桁の属性である色を 0, 1, 2, 3 の 4 個の数字に置き換えたものである。

本実験課題においても、第 1 試行目の質問コードとフィードバック情報によって、課題の記憶負荷の大きさは論理的に定まる。そこで、参加者にすべてのゲームで同一の記憶負荷を与えるために、ゲーム開始時にあらかじめすべての桁の数字が異なる質問コードか 2 桁が同じ数字で残り 1 桁が異なる質問コードと cp 値, cn 値(correct number, 研究 1, 2 の 3 桁版 Mastermind 課題の cc 値に相当)を呈示した。表 2-5 は研究 3 で用いられた実験課題の正解コード, 1 試行目質問コード, cp 値, cn 値のパターンを示したものである。

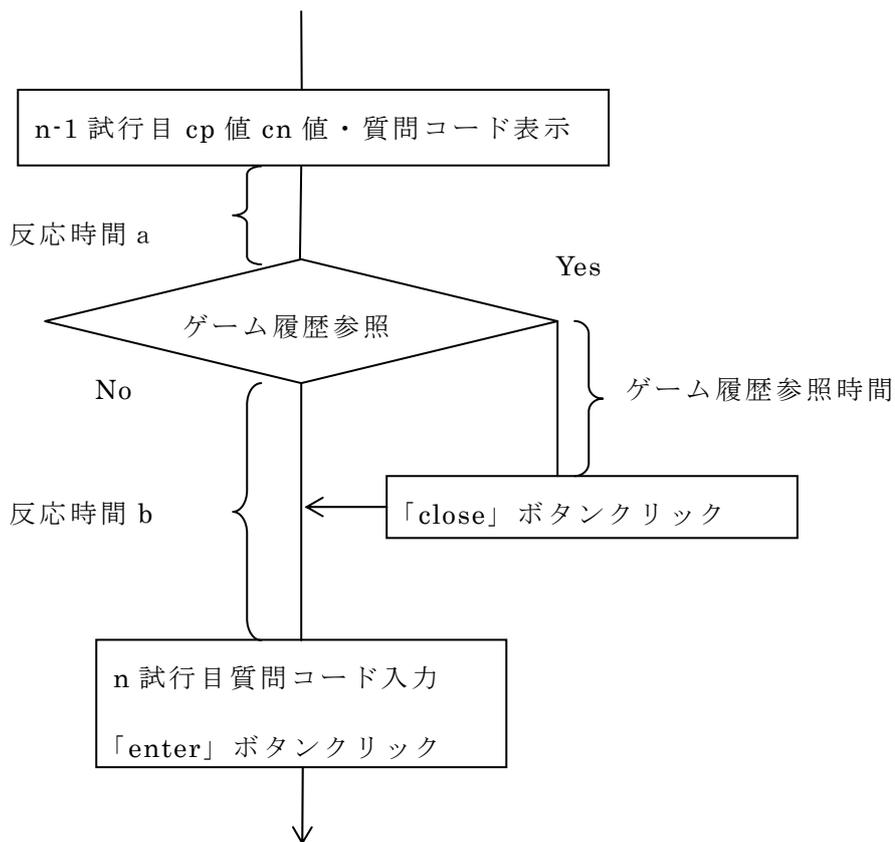
表 2-5 実験課題の正解コードと 1 試行目呈示コードと cp 値, cn 値のパターン (研究 3)

ゲーム	正解コード	呈示コード	cp	cn
1	231	013	0	2
2	002	011	1	0
3	020	102	0	2
4	022	112	1	0
5	202	021	0	2
6	013	022	1	0
7	200	021	0	2
8	220	110	1	0
9	132	023	0	2
10	121	331	1	0

注) cp:位置と数字両方の一致数, cn:数字のみの一致数。

図 2-11 は本実験課題の進行過程を例示したものである。cp 値 cn 値が呈示され「enter」ボタンをクリックするまでの時間を反応時間として記録した。また、「see trial record」ボタンをクリックするとゲーム履歴ウィンドウが開きゲーム履歴が参照可能となった。このゲーム履歴

ウィンドウが開いている間、参加者は「enter」ボタンをクリックすることはできない、すなわち質問コードを確定することはできなかった。参加者は、「close」ボタンをクリックしゲーム履歴ウィンドウを閉じた後、「enter」ボタンをクリックし質問コードを確定した。参加者がゲーム履歴ウィンドウを開いている時間をゲーム履歴参照時間として記録した。



$$n \text{ 試行目の反応時間} = \text{反応時間 a} + \text{反応時間 b} - \text{ゲーム履歴参照時間}$$

図 2-11 実験課題における反応時間とゲーム履歴参照時間（研究 3）

研究 3 では、図 2-10、図 2-11 に示される実験課題を利用することにより、反応時間、ゲーム履歴参照時間、ゲーム履歴参照回数という従属変数についても分析を行った。

方法

参加者 大学生 42 名（男性 27 名，女性 15 名），平均年齢 20.3 歳（範囲：19—21 歳）。すべての参加者は P C の操作に関して 6 か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 3 桁版 Mastermind 課題及び本実験課題を行った経験のある参加者はいなかった。

実験課題 3 桁版数当てゲーム。実験課題は，Visual Basic6.0 によって本実験用に作成されたもので，自動的に参加者のゲームごとの，質問コード，試行回数，各ゲームの正解コード，反応時間，ゲーム履歴参照時間が保存された。なお，反応時間の測定には GetTickCount 関数を利用した。参加者は P C (NEC PC-MA10T) 上でゲームを行った。正解コードはランダムに選ばれ，1 ゲーム中参加者は 15 試行まで可能であった。15 試行目においても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。参加者は，あらかじめ第 1 試行目とそれに対するフィードバック情報が呈示されている状態(表 2-5)からゲームを行った。第 1 試行目に 012 といった 3 桁とも異なる数字を呈示し，フィードバック情報として cp 値 0，cn 値 2 を呈示するゲームを 5 ゲーム，第 1 試行目に 011 といった 2 つの数字のみの組み合わせを呈示し，フィードバック情報として cp 値 1，cn 値 0 を呈

示するゲームを 5 ゲーム，計 10 ゲームを行った。実験中，参加者はメモや筆記具を利用することはできなかった。

R S T の測定 R S T は，苧阪(2002)によって開発された日本語版 R S T が用いられた。実施方法は，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。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 試行だけ正解の時は 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も，5 文条件まで測定を行った。

短期記憶スパンの測定 短期記憶スパン測定のために極限法（水野，2004）によるデジットスパン，ワードスパンの測定を行った。刺激呈示及び反応測定には P C (NEC MA10T) と 15 インチ CRT を使用し，Visual Basic6.0 によって開発された測定プログラムが利用された。なお，呈示時間の制御には，timeGetTime 関数を利用した。デジットスパン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 30ms，SOA 530ms 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，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，その平均値をデジットスパンとした。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，その試行のスパンは 3 とした。ワードスパンの測定では，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デジットスパンと同様であった。

実験計画 スパン×ゲーム履歴の混合計画を用いた。第 1 要因は参加者間変数，第 2 要因は参加者内変数でゲーム履歴利用可条件及びゲーム履歴利用不可条件であった。第 1 要因は，後述する方法でスパンによって参加者を振り分けた。

手続き まず参加者全員に対して個別に，デジットスパン，ワードスパンの測定及び R S T が行われた。次に参加者は，ゲーム履歴利用可条件・利用不可条件下で 1 ゲームずつ練習ゲームを行った後，各条件下で 10 ゲームを行った。各条件の実施順はカウンタバランスをとった。

結果

R S T 表 2-6 は，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 以上の参加者群，3.0 及び 3.5 の参加者群，2.5 以下の参加者群ごとのスパン得点，R S T 総再生数，デジットスパン，ワードスパンの平均値と標準偏差を示したものである。R S T の結果からスパン得点上位の参加者 10 名を高スパン群に，スパン得点下位の参加者 10 名を低スパン群に振り分けた。高スパン群のスパン得点平均値は 3.30，*SD* は 0.71 であり，低スパン群のスパン得点平均値は 2.05，*SD* は 0.15 であった。

短期記憶スパン 表 2-7 は，高スパン群と低スパン群のデジットスパンとワードスパンの平均値を示したものである。スパン群間のデジットスパン ($t(18) = 0.59, ns$)，ワードスパン ($t(18) = 0.47, ns$) に有意差はなかった。

表 2-6 各スパン群のスパン得点, RST 総再生数, デジットスパン, ワードスパン (研究 3)

スパン	<i>n</i>		スパン得点	総再生数	デジット スパン	ワード スパン
4.0 以上	3	<i>M</i>	4.3	57.7	6.7	6.2
		<i>SD</i>	0.6	6.4	0.8	0.9
3.0 及び 3.5	8	<i>M</i>	3.1	50.3	6.7	6.1
		<i>SD</i>	0.2	8.8	1.1	0.9
2.5 以下	31	<i>M</i>	2.2	46.0	6.2	5.9
		<i>SD</i>	0.3	7.0	0.9	0.8
全体	42	<i>M</i>	2.5	47.7	6.3	5.9
		<i>SD</i>	0.7	7.9	0.9	0.8

表 2-7 高スパン, 低スパン群におけるスパン得点, デジットスパン, ワードスパンの平均値と標準偏差 (研究 3)

	スパン	<i>M</i>	<i>SD</i>
スパン得点	高	3.30	0.71
	低	2.05	0.15
デジットスパン	高	6.36	0.91
	低	6.16	0.56
ワードスパン	高	5.88	0.73
	低	5.72	0.79

注) 高スパン群 *n*=10, 低スパン群 *n*=10

試行回数 図 2-12 は, 各群の平均試行回数を図示したものである。平均試行回数に対し, スパン要因×ゲーム履歴要因の 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($F(1,18)=6.36, p < .05$)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。ゲーム履歴要因($F(1,18)=0.45, ns$), 2 要因の交互作用($F(1,18)=2.88, ns$)は有意でなかった。

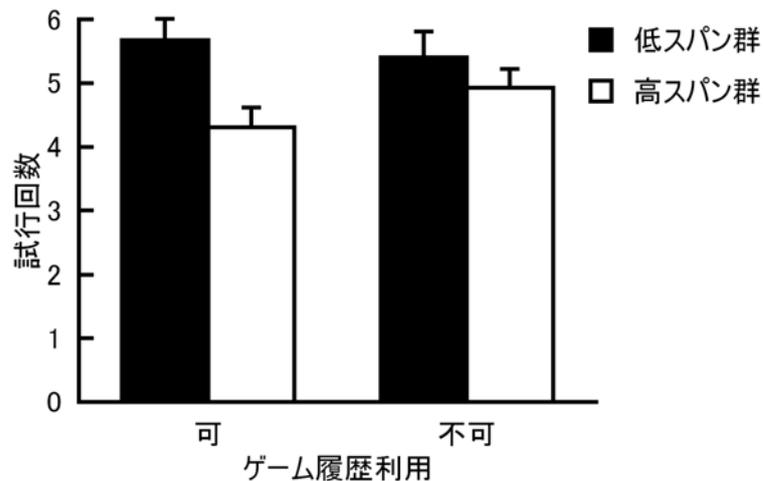


図 2-12 各群の試行回数の平均値と標準誤差(研究 3)

解決ゲーム数 図 2-13 は、各群の解決ゲーム数の平均値を図示したものである。各群の平均解決ゲーム数の平均値に対し、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、有意な効果はなかった(スパン要因： $F(1,18)=2.49, ns$; ゲーム履歴要因： $F(1,18)= 0.26, ns$; 交互作用： $F(1,18)= 0.00, ns$)。

質問コード重複回数 図 2-14 は、各群の平均質問コード重複回数を図示したものである。平均重複回数に対し、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傾向であった($F(1,18)=3.86, p < .10$)。高スパン群は、低スパン群よりも重複回数が少ない傾向であった。ゲーム履歴要因($F(1,18)= 0.01, ns$)、2 要因の交互作用($F(1,18)= 0.85, ns$)は、有意でなかった。

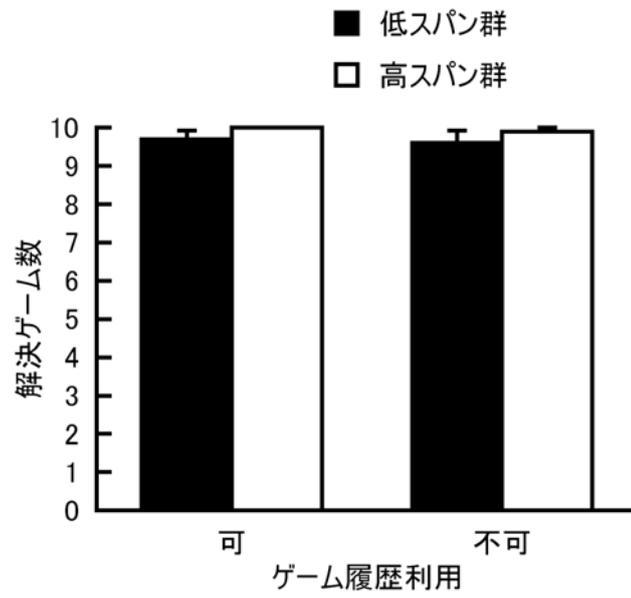


図 2-13 各群の解決ゲーム数の平均値と標準誤差(研究 3)

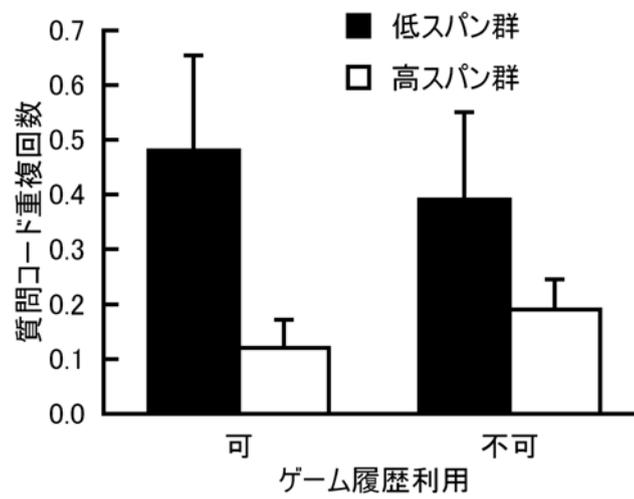


図 2-14 各群の質問コード重複回数の平均値と標準誤差(研究 3)

反応時間 図 2-15 は、各群の平均反応時間を図示したものである。平均反応時間に対し、スパン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果、ゲーム履歴要因の主効果($F(1,18)=5.61, p < .05$)、2 要因の交互作用($F(1,18)=4.63, p < .05$)が有意であった。スパン要因の主効果は有意でなかった($F(1,18)= 0.41, ns$)。各要因の単純主効果の検定の結果、低スパン群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意($F(1,18)=10.21, p < .01$)であり、低スパン群はゲーム履歴利用可条件よりもゲーム履歴利用不可条件において反応時間が有意に短かった。

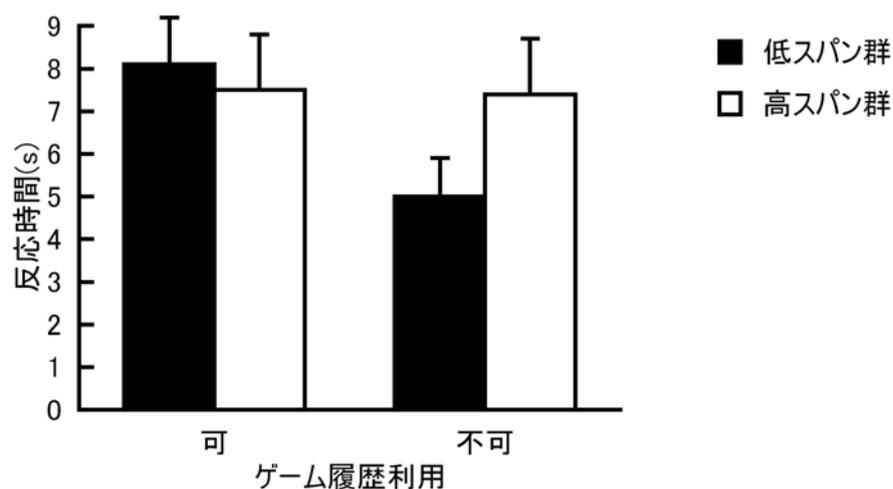


図 2-15 各群の反応時間の平均値と標準誤差(研究 3)

ゲーム履歴参照回数と参照時間 表 2-8 は、各群のゲーム履歴参照時間と参照回数の平均値を示したものである。スパン群間のゲーム履歴参照時間 ($t(18)=-0.57, ns$)、ゲーム履歴参照回数 ($t(18)=-0.95, ns$) に有意差はなかった。

表 2-8 ゲーム履歴参照回数と参照時間の各群における平均値 (研究 3)

	スパン	<i>M</i>	<i>SD</i>
参照回数	高	1.2	1.2
	低	1.9	2.3
参照時間 (<i>s</i>)	高	9.6	7.3
	低	9.5	8.6

注) 高スパン群 $n=10$, 低スパン群 $n=10$

ゲーム履歴利用者数 図 2-16 は, ゲーム履歴利用可条件において, 10 ゲーム中何ゲームで履歴を利用したかの回数別に全参加者の人数を図示したものである。ゲーム履歴を利用しなかった参加者は, 5 名であった。また, 10 ゲーム中におけるゲーム履歴利用ゲーム数の平均値, 最大値, 最小値を示したものが表 2-9 である。高スパン群低スパン群のすべての参加者が, 最低 1 ゲームはゲーム履歴を利用し, ゲーム履歴を利用しないゲームも最低 1 ゲームあった。スパン群間のゲーム履歴利用ゲーム数の平均値に有意差はなかった ($t(18)=-0.53, ns$)。

表 2-9 ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用ゲーム数の平均値 (研究 3)

スパン	<i>M</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>SD</i>
高	4.6	1	9	2.5
低	5.3	1	9	3.3

注) 高スパン群 $n=10$, 低スパン群 $n=10$

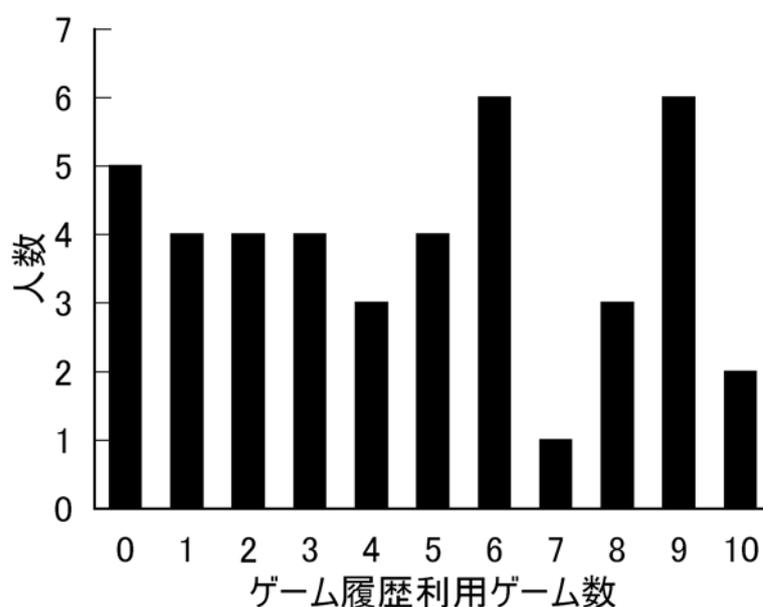


図 2-16 10 ゲーム中何ゲームでゲーム履歴を利用したかの回数別参加者数(研究3)

図 2-17 は、ゲームごとに全参加者についてゲーム履歴利用者数を図示したものである。コクランの Q 検定の結果、ゲームごとのゲーム履歴利用者数に有意差はなかった ($Q(9, N=42)=12.03, ns$)。

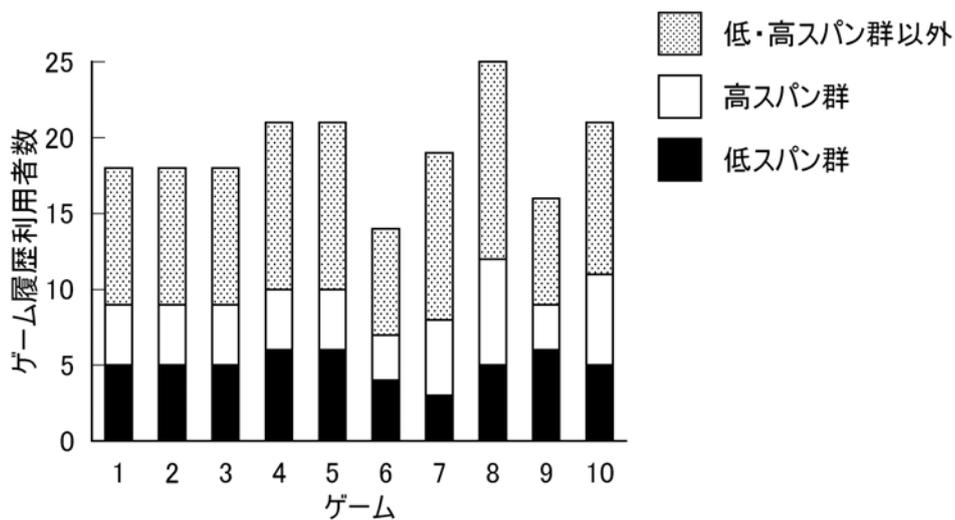


図 2-17 ゲームごとのゲーム履歴利用者数(研究3)

表 2-10 は、ゲーム履歴を 1 ゲーム中最初に利用した試行回数について高スパン群、低スパン群ごとにまとめたものである。ゲーム履歴利用開始試行回数の各群の平均値に有意差はなかった ($t(18)=-0.158, ns$)。

表 2-10 ゲーム履歴利用開始試行回数 (研究 3)

スパン	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>
高	3.0	1.2	2.0	7.0
低	3.2	2.3	1.3	7.0
全体	3.1	2.3	1.4	7.0

注) 高スパン群 $n=10$, 低スパン群 $n=10$

ゲーム履歴利用時の試行回数 研究 3 における上記の試行回数の分析はゲーム履歴利用可条件においても、実際にはゲーム履歴を利用していないゲームの試行回数も含まれている。そこで、ゲーム履歴利用可条件において実際にゲーム履歴を利用したゲームにおける試行回数の平均値を算出し、ゲーム履歴利用不可条件の試行回数との比較を行った。図 2-18 はゲーム履歴利用時の試行回数とゲーム履歴利用不可条件の試行回数の平均値を図示したものである。

スパン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果、スパン要因の主効果の有意傾向($F(1,18)=4.10, p < .10$)、ゲーム履歴要因の主効果($F(1,18)=8.65, p < .01$)が有意であり、2 要因の交互作用が有意傾向($F(1,18)=3.18, p < .10$)であった。ゲーム履歴要因ごとのスパン要因の影響の違いを検討するために、交互作用は有意傾向であるが各要因の単純主効果の検定を行った。その結果、ゲーム履歴利用条件においてスパン要因の単純主効果が有意($F(1,36)=7.19, p < .05$)であり、低スパン群は高スパン群よりも試行回数が多くパフォーマンスが悪かった。また、低スパン群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意($F(1,18)=11.16,$

$p < .01$)であり、ゲーム履歴利用不可条件に比べゲーム履歴利用可条件は試行回数が多くパフォーマンスが悪かった。

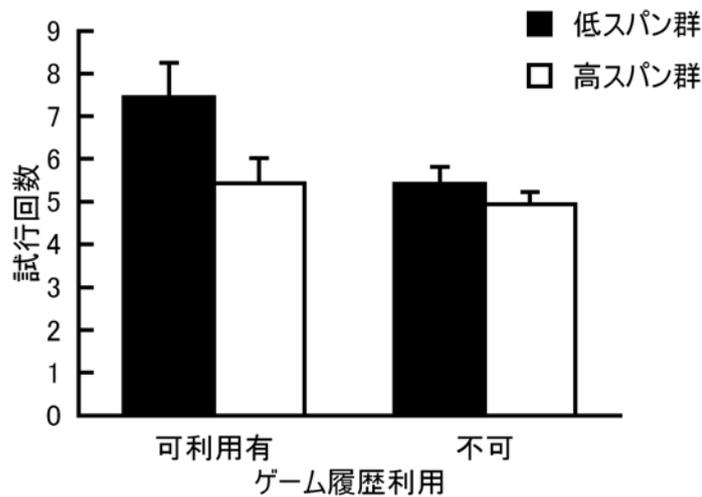


図 2-18 ゲーム履歴利用時の試行回数とゲーム履歴利用不可条件の試行回数の平均値と標準誤差(研究 3)

ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用ゲームの試行回数と、ゲーム履歴非利用ゲームの試行回数の検討も行った。ゲーム履歴利用ゲームと非利用ゲームの試行回数の平均を図示したものが図 2-19 である。

スパン要因×ゲーム履歴要因 (利用・非利用) の 2 要因分散分析の結果、スパン要因の主効果の有意傾向($F(1,18)=4.06, p < .10$)、ゲーム履歴要因の主効果($F(1,18)=77.42, p < .01$)が有意であり、2 要因の交互作用が有意傾向($F(1,18)=3.18, p < .10$)であった。ゲーム履歴要因ごとのスパン要因の影響の違いを検討するために、交互作用は有意傾向であるが各要因の単純主効果の検定を行った。その結果、ゲーム履歴利用条件においてスパン要因の単純主効果が有意($F(1,36)=6.99, p < .05$)であり、低スパン群は高スパン群よりも試行回数が多くパフォーマンスが悪

かった。また、高スパン群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意 ($F(1,18)=14.43, p < .01$) であり、ゲーム履歴非利用条件に比べゲーム履歴利用条件は試行回数が多くパフォーマンスが悪かった。低スパン群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意 ($F(1,18)=39.95, p < .01$) であり、ゲーム履歴非利用条件に比べゲーム履歴利用条件は試行回数が多くパフォーマンスが悪かった。

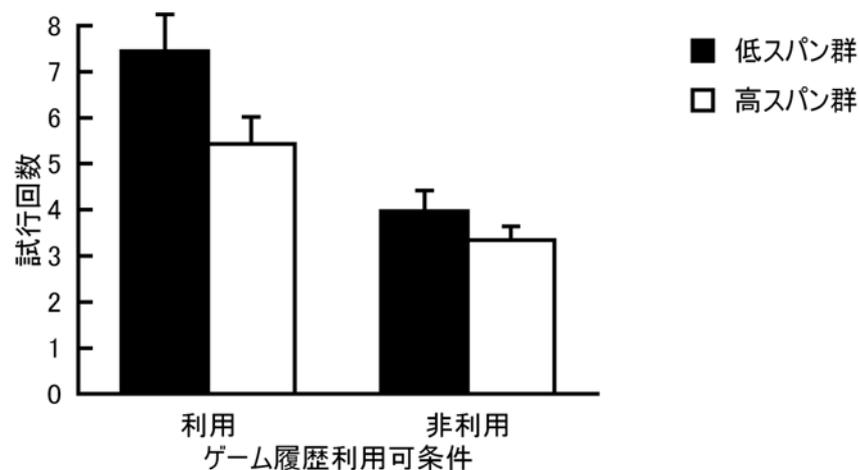


図 2-19 ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用時の試行回数とゲーム履歴非利用時の試行回数の平均値と標準誤差(研究 3)

ゲーム履歴利用時の質問コード重複回数 試行回数と同様にゲーム履歴利用可条件において実際にゲーム履歴を利用したゲームにおける質問コード重複回数の平均値を算出し、ゲーム履歴利用不可条件の質問コード重複回数との比較を行った。図 2-20 はゲーム履歴利用時の質問コード重複回数とゲーム履歴利用不可条件の質問コード重複回数の平均値を図示したものである。スパン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果、ゲーム履歴要因の主効果が有意 ($F(1,18)=5.11, p < .05$) であり、ゲーム履歴利用時はゲーム履歴利用不可条件に比べ質問コード重複

回数が少なかった。スパン要因の主効果($F(1,18)=2.54, ns$), 2 要因の交互作用($F(1,18)=0.13, ns$)は有意でなかった。

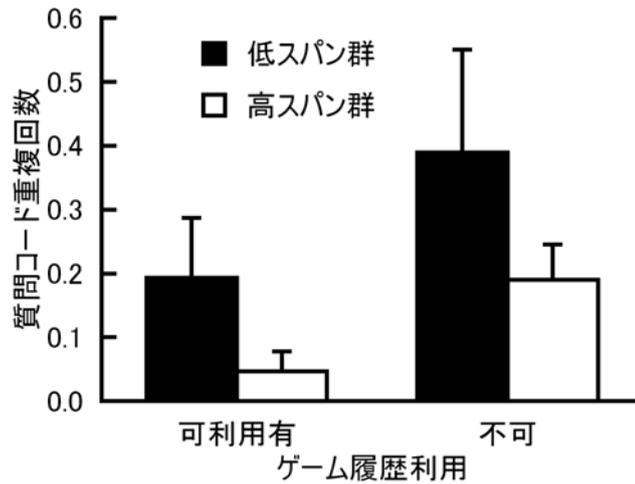


図 2-20 ゲーム履歴利用時の質問コード重複回数とゲーム履歴利用不可条件の質問コード重複回数の平均値と標準誤差(研究 3)

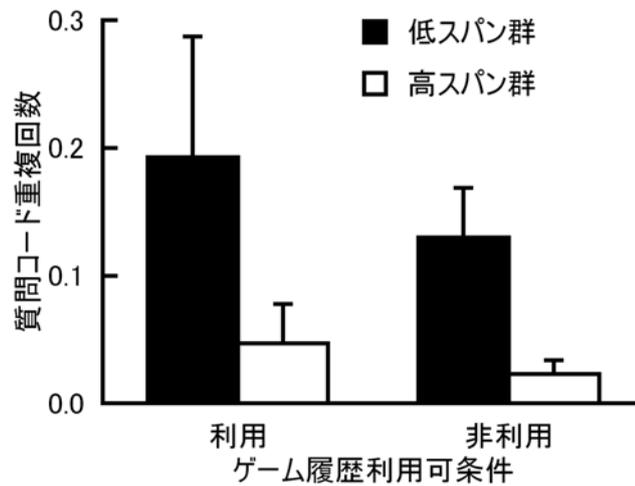


図 2-21 ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用時の質問コード重複回数とゲーム履歴非利用時の質問コード重複回数の平均値と標準誤差(研究 3)

ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用ゲームの質問コード重複回数と、ゲーム履歴非利用ゲームの質問コード重複回数の検討も行った。ゲーム履歴利用ゲームと非利用ゲームの質問コード重複回数の平均を図示したものが図 2-21 である。スパン要因×ゲーム履歴要因（利用・非利用）の 2 要因分散分析の結果、スパン要因の主効果が有意 ($F(1,18)=5.48, p < .05$) であり、高スパン群は低スパン群よりも質問コード重複回数が少なかった。ゲーム履歴要因の主効果 ($F(1,18)=0.84, ns$)、2 要因の交互作用 ($F(1,18)=0.17, ns$) は有意でなかった。

ゲーム履歴利用時の反応時間 反応時間についても同様にゲーム履歴利用可条件において実際にゲーム履歴を利用したゲームにおける反応時間の平均値を算出し、ゲーム履歴利用不可条件の反応時間との比較を行った。図 2-22 はゲーム履歴利用時の反応時間とゲーム履歴無条件の反応時間の平均値を図示したものである。

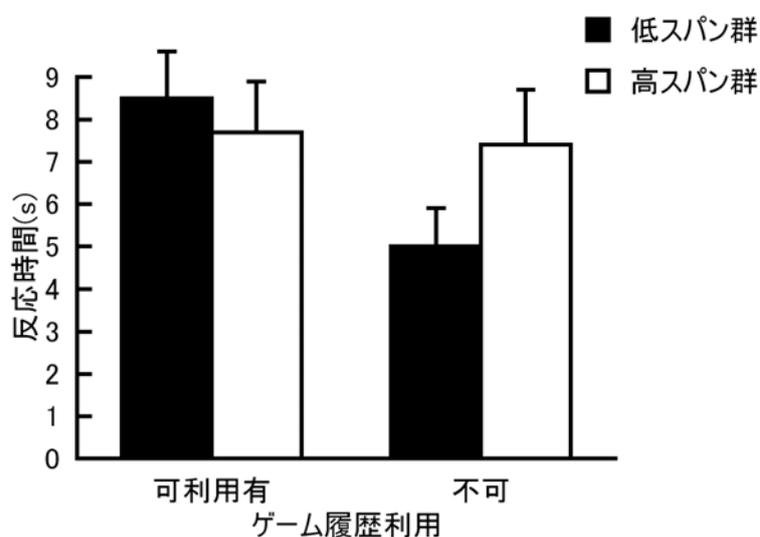


図 2-22 ゲーム履歴利用時の反応時間とゲーム履歴利用不可条件の反応時間の平均値と標準誤差(研究 3)

スパン要因×ゲーム履歴要因の 2 要因分散分析の結果，ゲーム履歴要因の主効果が有意($F(1,18)=5.64, p < .05$)であり，2 要因の交互作用($F(1,18)=3.85, p < .10$)は有意傾向であった。スパン要因は有意でなかった($F(1,18)=0.41, ns$)。ゲーム履歴要因ごとのスパン要因の影響の違いを検討するために，交互作用は有意傾向であるが各要因の単純主効果の検定を行った。その結果，低スパン群においてゲーム履歴要因の単純主効果が有意($F(1,18)=9.41, p < .01$)であり，ゲーム履歴利用不可条件に比べゲーム履歴利用条件は反応時間が長かった。

ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用ゲームの反応時間と，ゲーム履歴非利用ゲームの反応時間の検討も行った。ゲーム履歴利用ゲームと非利用ゲームの反応時間の平均を図示したものが図 2-23 である。

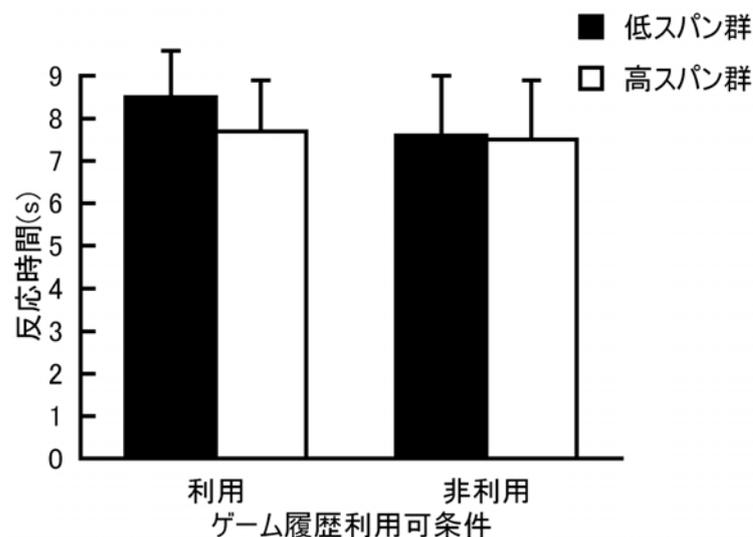


図 2-23 ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用時の反応時間とゲーム履歴非利用時の反応時間の平均値と標準誤差(研究 3)

スパン要因×ゲーム履歴要因（利用・非利用）の 2 要因分散分析の結果，スパン要因の主効果($F(1,18)=0.07, ns$)，ゲーム履歴要因の主効果($F(1,18)=0.60, ns$)，2 要因の交互作用($F(1,18)=0.25, ns$)は有意でなかった。

考察

研究 2 のエクストリーム分析による分析結果と同様に，研究 3 においてもゲーム履歴の有無にかかわらず，高スパン群は低スパン群よりも試行回数が少なくパフォーマンスが良かった。また，高スパン群と低スパン群の間でデジットスパンとワードスパンの平均値に有意差はなかった。スパン群間のパフォーマンスの差は，単に短期記憶成分を反映したのではなくワーキングメモリ容量を反映した結果であることが示唆された。

大塚・宮谷(2007a)は，本実験課題と同様の課題においてゲーム履歴の影響について検討し，ゲーム履歴の利用が必ずしもパフォーマンスの改善につながらないことを示唆している。類推的問題解決(山崎・三輪, 1998, 1999, 2001)や初等物理学の解決プロセス(Anzai, 1991)において，外化された外的表象は，問題解決を促進するとは限らないことが報告されている。研究 3 においても，ゲーム履歴が利用可能という条件のみでは，本実験課題のパフォーマンスの向上にはつながらないことが示唆される。

また，ゲーム履歴の参照回数や参照時間においてもスパン群間に差はなく，外的表象の利用程度にワーキングメモリ容量の影響はなかったことが示唆された。

一方、ゲーム履歴は解決プロセスに影響を及ぼしていたことが反応時間の分析から示唆された。低スパン群の参加者は、ゲーム履歴利用不可条件においてゲーム履歴利用可条件に比べ反応時間が短かった。低スパン群の参加者はワーキングメモリの処理資源に余裕がないために、ゲーム履歴がない状態では高スパン群に比べ十分な推論時間をとることができず次の質問コードを確定していたことが示唆される。一方、ゲーム履歴がある場合は、解決のために必要な情報はゲーム履歴によって参照することができるので、ゲーム履歴がない場合に比べ正解コードの推論に時間をかけることができたと思われる。高スパン群は、ワーキングメモリの処理資源に余裕があるために、ゲーム履歴がない場合でも正解コードの推論に時間をかけることができ、ゲーム履歴有条件の反応時間とゲーム履歴無条件の反応時間の間に有意差はなかったと考えられる。

研究 3 では、解決ゲーム数において有意差はなかった。これは、研究 1, 2 における 1 ゲームあたりの 10 回の最大試行回数を、研究 3 では 15 回まで可能としたことにより、ほぼすべての参加者がすべてのゲームにおいて正解コードを当てることができたためである。

ゲーム履歴利用可条件において実際にゲーム履歴を利用したゲームを抽出しゲーム履歴利用不可条件との比較を行った結果、ゲーム履歴を利用した時のパフォーマンスはワーキングメモリ容量によって異なることが示唆された。ゲーム履歴を利用した場合、低スパン群は高スパン群よりも試行回数が多かった。また、低スパン群は、ゲーム履歴利用不可条件よりもゲーム履歴を利用した場合に試行回数は多かった。本実験課題と同じ課題を用いてゲーム履歴の影響を検討した大塚・宮谷 (2007a) の研究では、参加者がワーキングメモリ資源のみで課題を解

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; 中條・中尾, 2005) として外的表象を利用することが報告されている。低スパン群の参加者は、ワーキングメモリの処理資源の不足に対して補償的にゲーム履歴を利用したにもかかわらず、高スパン群と同程度にはパフォーマンスは改善されなかったといえる。

ゲーム履歴を利用した場合においても、低スパン群は高スパン群と同程度にはパフォーマンスが改善しないという結果は、ゲーム履歴利用可条件におけるゲーム履歴利用・非利用時の試行回数の分析においても追認されている。低スパン群は高スパン群よりも、ゲーム履歴利用時の試行回数が多かった。また、高スパン群、低スパン群ともゲーム履歴利用時の試行回数が多かった。この結果は、高スパン群も低スパン群もワーキングメモリ資源に余裕がなく手がかり情報の保持が困難に陥った場合に、補償的にゲーム履歴を利用していたことを示唆している。しかし、低スパン群は、高スパン群に比べゲーム履歴を有効に利用できなかったことが示唆される。高スパン群の参加者は、内的なワーキングメモリ資源と外的なゲーム履歴という表象とに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ものである。

高スパン群が低スパン群に比べゲーム履歴を有効に利用し、パフォーマンスが向上していたという結果は、質問コード重複回数の分析からも示唆される。ゲーム履歴利用時とゲーム履歴非利用時の質問コード重複回数の分析では、ゲーム履歴の利用にかかわらず高スパン群は低スパン群よりも質問コード重複回数が少なかった。この結果は、高スパン群

は、ゲーム履歴を適切に利用することで質問コードの重複といったエラーをゲーム履歴利用可条件で減少させていたことを示すものである。また、ゲーム履歴利用時とゲーム履歴利用不可条件の質問コード重複回数の分析では、ゲーム履歴利用時の質問コード重複回数がゲーム履歴利用不可条件に比べ少なくなっていた。この結果は、ゲーム履歴が関連情報の保持に有効であったことを示す結果である。また、低スパン群はゲーム履歴利用時には、ゲーム履歴利用不可条件に比べ反応時間も長くなっていた。低スパン群は、ゲーム履歴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。本研究におけるゲーム履歴を実際に利用したゲームの分析から、ゲーム履歴は参加者のワーキングメモリ容量の制約により関連情報の保持や処理が困難になった場合に補償的に利用されていたと考えられる。ただし、高スパン群は低スパン群に比べ有効にゲーム履歴を利用していたと思われる。

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)。本実験課題ではゲーム履歴によって、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・宮谷, 2008)。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容量を補償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。ただし、外的表象といった内的ワーキングメモリ資源を補償する外的な分散ワーキングメモリ資源を利用する場合においても、内的なワーキングメモリ容量の制約があり、高スパン群が低スパン群よりも有効に外的表象を利用していたことが示唆された。外的に分散するワーキングメモリ

資源は、単に内的なワーキングメモリ資源の延長ではなく、内的なワーキングメモリ資源による制御が必要なことを示唆する結果である。

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、現在進行中の解決プロセス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。このような心的努力の処理資源としてワーキングメモリの処理資源に余裕のある高スパン群は、低スパン群に比べ適切に外的表象を利用できたと考えられる。

内的から外的な資源に分散するワーキングメモリの処理資源は、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。このような解決プロセスにおける外的表象の有効利用には、付加的なオーバーヘッド部分に必然的に内的なワーキングメモリ処理資源が必要とされる。こういった外的表象を利用するうえでの付加的なオーバーヘッド部分に対して、ワーキングメモリ容量の影響があったと思われる。

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)。このような、適切な方略の選択においては、内的なワーキングメモリ資源を利用した方略の選択プロセスが必要となり、外的表象を利用する場合においても内的なワーキングメモリ容量の影響が生じると考えられる。

第3章 総合考察

第1節 本研究の成果と意義

本研究の目的は、内的制約条件としてのワーキングメモリ容量と、問題空間、外的表象といった外的制約条件が、それぞれどのように問題解決に影響を及ぼすのかについて、特に両者の交互作用に注目して検討することであった。問題解決課題として領域に依存しない課題であり、本研究で検討する外的制約条件の統制が可能である簡易版 Mastermind 課題を利用した。ワーキングメモリ容量の測定には、日本語 R S T を利用した。

ワーキングメモリ容量

本研究では、一貫してワーキングメモリ容量による問題解決プロセスの制約が示唆され、ワーキングメモリが問題解決プロセスを規定する基本的要因であることが確認できた。また、ワーキングメモリ容量による問題解決プロセスの影響は、情報の保持的側面である短期記憶成分ではないことも確認できた。

ワーキングメモリの処理資源については、様々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つの見解は相いれないものではなく、相補的なものととらえることの重要性が認識されつつある (Miyake & Shah, 1999)。R S T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、R S T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 テストといった認知課題との関連も指摘されている (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)。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、R S T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との関連と、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** 課題の解決プロセスには言語的な情報処理が重要な役割を担っており、R S T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** 課題の解決プロセス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** 課題と R S T 得点の

個人差との関連は、問題解決プロセス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** 課題の解決プロセスにおいて「黄色が1つ含まれる」、「Yは右端」といったように、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、R S T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、ロンドン塔課題のパフォーマンス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プロセスにおいて、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パフォーマンス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、R S T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R S T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プロセスとの関連を検討することも必要である。

Mastermind 課題の解決プロセスにおいて、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(Verguts & De Boeck, 2002)。Mastermind 課題の解決プロセス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プロセスとスパン個人差との関連がみ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、問題解決プロセス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、R S T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、R S T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

題解決プロセス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る。

ワーキングメモリ容量と外的制約要因との交互作用

ワーキングメモリ容量と外的制約条件の交互作用について、外的制約の性質によってあらわれ方が異なることが示唆された。研究 1 では、問題空間の大きさによってワーキングメモリ容量が問題解決に及ぼす影響は異なり、問題空間による外的制約が大きいほどワーキングメモリ容量が問題解決に及ぼす影響は大きかった。

研究 2 において、ワーキングメモリ容量と外的表象が問題解決に及ぼす交互作用は必ずしもワーキングメモリが小さいほど外的制約要因の影響を受けやすいといった単純なものではなく、中程度のワーキングメモリ容量を持つ場合にもっとも影響を受けやすいということもあることを示した点は、本研究で得られたユニークな成果である。

研究 3 においては、外的表象は問題解決におけるワーキングメモリの認知的負荷を補償するために利用されていたことが示唆された。参加者が実際に外的表象を利用した場合に、ワーキングメモリ容量と外的表象が問題解決に及ぼす影響に交互作用があった。ワーキングメモリ容量が大きい参加者は、より効果的に外的表象を利用していたことが示された。この結果は、ワーキングメモリ容量が解決プロセスにおける外的表象の利用に影響を及ぼしていたことを示唆する結果であり、外的な記憶補助の制御や利用にも内的なワーキングメモリが関連していることを示唆するものである。

以上、本研究では、問題解決におけるワーキングメモリ容量と各外的制約要因に多様な交互作用が示された。本研究では、研究によって参加者のスパンの範囲が異なり、実験によって課題の難易度の設定も異なっていたことから、これらの多様な交互作用が見かけ上の現象である可能性も考慮しなければならない。しかし、研究 1 と研究 2 の GP 分析の対象とした高スパン群と低スパン群はほぼ等質であり、また課題の難易度も研究 2 の条件設定は、研究 1 における条件の一部である。にもかかわらず、ワーキングメモリ容量と外的制約条件の交互作用のあらわれ方が異なることから、両者の交互作用のあらわれ方は、本来多様なものであると考えるのが適切であろう。

問題解決において関連情報を活性化させた状態で常にアクセス可能な状態に保持しておくことは、ワーキングメモリのもっとも中心的な機能である。ワーキングメモリで活性化される情報は、外的制約要因によって多様に変化すると考えられる。したがって、ワーキングメモリ容量と外的制約要因の相互的な関連性は必然的に多様なものとして発現してきたと思われる。

Hambrick & Engle(2003)は、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容量の個人差を、注意の制御機能を反映したものであるとし、この注意の制御の必要性が高い場合にワーキングメモリ容量の個人差の影響が強くあらわれることを示唆している。本研究で検討した問題空間、外的表象といった外的制約要因によって、認知主体に必要とされる注意の制御機能は異なると考えられる。例えば、研究 1 で検討した問題空間要因において、問題空間の探索に必要とされる操作子の適用に必要な注意の制御機能と、外的表象を利用する場合に必要な内

的表象から外的表象へ注意の対象を切り替えるといった注意の制御機能は異なっていると考えられる。このように、問題解決における外的制約要因ごとに必要とされる注意の制御機能は異なり、その結果ワーキングメモリ容量との相互作用のあらわれ方も異なってくると考えられる。

従来、ワーキングメモリの処理資源モデル(Just & Carpenter, 1992)では、ある特定の認知課題において外的要因による制約が厳しいほど、ワーキングメモリ容量の影響は顕著にあらわれることが示唆されていた。しかし、本研究では、外的制約要因によってワーキングメモリ容量の影響のあらわれ方は多様で異なることが実証された。この点が、本研究の成果と意義である。

第2節 今後の課題

本研究で検討した外的制約要因に関して、さらに詳細な条件設定を行った追試が必要である。例えば、3桁版、4桁版 Mastermind 課題を実験課題とし、問題空間が異なる場合に外的表象の影響はワーキングメモリ容量によってどのように異なるのか、といった3要因の条件設定を行った検討が必要であろう。

R S Tには、ワーキングメモリとは直接関係のない動機づけや方略といった種々の成分を含むと考えられる。したがって、1つのスパン課題のパフォーマンスだけをもとにG P分析を行う際には注意が必要である(三宅・齋藤, 2001)。本研究では、R S Tの結果のみをワーキングメモリ容量の指標としたため、G P分析の中でもエクストリーム分析と

いう手法を用いた。このように、ワーキングメモリスパン課題のパフォーマンスをワーキングメモリ容量の指標として利用し、ある特定の高度認知課題における参加者の解決プロセスを検討する場合、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)。したがって、ワーキングメモリ容量の測定に関しても R S T 以外のワーキングメモリスパン課題を併用し、より多面的な手法をとる必要があり、本実験課題と R S T 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。

R S T の高スパン群と低スパン群が、ある認知課題で有意に異なるパフォーマンスを示しても、スパン得点の差が、その認知課題のパフォーマンスの差の原因であるとはみなせない。ワーキングメモリ容量と問題解決課題の因果関係までも含めた分析を行うためには潜在変数分析(latent variable analysis)を利用した研究が必要であろう。

低スパン群に分類される参加者の高度認知活動におけるパフォーマンスの改善は、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。研究 1, 2 においては、ワーキングメモリで関連情報の保持が困難になった場合に、補償的に外的表象が利用されることが示された。こういった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ような方策についても、今後の検討が必要とされるであろう。

大塚・奥田(1998)は、本研究と同様の Mastermind 課題の解決方略を検討した結果、低スパン群においても焦点方略、戦術方略という認知的負荷の異なる 2 つの解決方略の利用頻度が異なることを示唆している。本研究の研究 2, 研究 3 では、Mastermind 課題における解決方略を考慮した分析を行った。しかし、ワーキングメモリ容量と解決方略と

の相互的な関連性については検討していない。ワーキングメモリ容量によって、利用する解決方略は影響を受けるかという点は、ワーキングメモリの制御機能とも関連した重要な問題であり、この点も今後の検討課題である。

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, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anzai, Y. (1991). Learning and use of representations for physics expertise. In K. A. Ericsson & J. Smith (Eds.), *Toward a general theory of expertise*. New York: Cambridge University Press. pp. 64-92.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1971). The control of short-term memory. *Scientific American*, **225**, 82-90.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component for working memory? *Trends in Cognitive Science*, **4**, 417-423.
- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. New York: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. Bower (Ed.), *Recent advances in learning and motivation: Vol. VIII*. New York: Academic Press. pp. 47-90.

- 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.
- Capon, A., Handley, S., & Dennis, I. (2003). Working memory and reasoning: An individual differences perspective. *Thinking & Reasoning*, **9**, 203-244.
- Carlson, R. A. (1997). *Experienced cognition*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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.
- 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.
- Carpenter, P. A., Miyake, A., & Just, M. A. (1994). Working memory constraints in comprehension: Evidence from individual differences, aphasia, and aging. In M. A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics*. San Diego, CA: Academic Press, pp. 1075-1122.
- Carpenter, P. A., Miyake, A., & Just, M. A. (1995). Language comprehension: Sentence and discourse processing. *Annual Review of Psychology*, **46**, 91-120.
- Cary, M., & Carlson, R. A. (1999). External support and the development of problem-solving routines. *Journal of Experimental Psychology*:

- Learning, Memory and Cognition*, **25**, 1053-1070.
- Cary, M., & Carlson, R.A. (2001). Distributing working memory resources in problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, **27**, 836-848.
- Case, R., Kurland, M., & Goldberg, J. (1982). Operational efficiency and growth of short term memory span. *Journal of Experimental Child Psychology*, **33**, 386-404.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The reading span test and its predictive power for reading comprehension ability. *Journal of Memory and Language*, **51**, 136-158.
- 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.
- Goldman-Rakic, P. S. (1992). Working memory and the mind. *Scientific American*, **267**, 110-117.
- Greeno, J. G. (1978). *A study of problem solving*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2002). Effects of domain knowledge, working memory capacity, and age on cognitive performance: An investigation of the knowledge-is-power hypothesis. *Cognitive Psychology*, **44**, 339-387.
- Hambrick, D. Z., & Engle, R. W. (2003). The role of working memory in problem solving. In J. E. Davidson & R. J. Sternberg (Eds.), *The psychology of problem solving*. London: Cambridge Press. pp. 176-206.
- 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.
- 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.
- Irving, R. W. (1979). Towards an optimum mastermind strategy. *Journal of Recreational Mathematics*, **11**, 81-87.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1985). Cognitive Coordinate systems: Accounts of Mental rotation and individual differences in spatial ability. *Psychological Review*, **92**, 137-172.
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1992). A capacity theory of comprehension: Individual differences in working memory. *Psychological Review*, **99**, 122-149.
- Just, M. A., Carpenter, P. A., & Hemphill, D. D. (1996). Constraints on processing capacity: Architectural or implementational? In D. Steier & T. Mitchell (Eds.), *Mind matters: A tribute to Allen Newell*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates. pp. 141-178.
- 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.
- 河本肇・福島脩美 (1989). 標本一致学習における自己強化と外的強化の
組合せ 心理学研究, **60**, 213-236.
- Knuth, D. E. (1977). The computer as master mind. *Journal of Recreational
Mathematics*, **9**, 1-6.
- 近藤洋史・森下正修・苧阪直行 (1999). 読みのワーキングメモリとリーディング
グスパン・テスト 心理学評論, **42**, 506-523.
- Koyama, K., & Lai, T. W. (1994). An optimal mastermind strategy. *Journal of
Recreational Mathematics*, **25**, 251-256.
- Kyllonen, P. C., & Christal, R. E. (1990). Reasoning ability is (little more
than) working-memory capacity? *Intelligence*, **14**, 389-433.
- Larkin, J. H. (1989). Display-based problem solving. In D. Klar & K.
Kotovsky (Eds.), *Complex information processing: The impact of
Herbert A. Simon*. Hillsdale, N.J.: 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.
- Laughlin, P. A., Lange, R., & Adamopoulos, J. (1982). Selection strategies for
"Mastermind" problems. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory,
and Cognition*, **8**, 475-483.
- 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.

- 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.
- 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. *認知科学*, **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.
- 三宅 晶 (2000). ワーキングメモリ：過去 現在 未来 荻阪直行 (編) *脳とワーキングメモリ* 京都大学出版会 pp. 311-329.
- Miyake, A. (2001). Individual differences in working memory: Introduction to the special section. *Journal of Experimental Psychology: General*, **130**, 163-168.
- Miyake, A., Carpenter, P. A., & Just, M. A. (1994). A capacity approach to syntactic comprehension disorders: Making normal adults perform like aphasic patients. *Cognitive Neuropsychology*, **11**, 671-717.
- 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., & 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

Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, N.J.: 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 *C A I 学会誌*, **11**, 183-194.

苧阪満里子 (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.

苧阪満里子 (2002). *脳のメモ帳 ワーキングメモリ* 新曜社

苧阪満里子・苧阪直行 (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・宮谷真人 (2007a). 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 *広島大学教育学研究科紀要 第三部 (教育人間科学領域)*, **56**, 227-236.

大塚一徳・宮谷真人 (2007b). 日本語リーディングスパン・テストにおけるターゲット語と刺激文の検討 *広島大学心理学研究*, **7**, 19-34.

大塚一徳・宮谷真人 (2008). 問題解決におけるワーキングメモリの記憶負荷と外化の検討 *広島大学教育学研究科紀要 第三部 (教育人間科学領域)*, **57**, 印刷中.

- 大塚一徳・奥田富蔵 (1995). ワーキングメモリへの記憶負荷が問題解決に及ぼす影響 東海大学短期大学紀要, **29**, 115-120.
- 大塚一徳・奥田富蔵 (1996). 作動記憶上への継時的な記憶負荷の増加が問題解決に及ぼす影響 東海大学短期大学紀要, **30**, 43-48.
- 大塚一徳・奥田富蔵 (1997). 問題解決における言語的作動記憶容量と解決方略 東海大学短期大学紀要, **31**, 37-42.
- 大塚一徳・奥田富蔵 (1998). 問題解決における言語的作動記憶容量の制約と外的資源の利用 東海大学短期大学紀要, **32**, 31-36.
- 大塚一徳・奥田富蔵 (1999). Mastermind におけるプレイヤーの解決方略—発話プロトコルによる解決過程の分析— 東海大学福岡短期大学紀要, **1**, 51-55.
- 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.
- 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.
- Raven, J. C. (1994). *Advanced Progressive Matrices, Set I*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1977). *Standard progressive matrices*. London: H. K. Lewis.
- 齊藤 智 (1997). 音韻的作動記憶に関する研究 風間書房
- 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.
- 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. (2004). On the nature of forgetting and the processing-storage relationship in reading span performance. *Journal of Memory and Language*, **50**, 425-443.
- Schönflug, 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.
- 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.
- Shah, P., & Miyake, A. (1999). Models of working memory. In A. Miyake & P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press. pp. 1-27.
- 田中哲朗 (1996). 数当てゲーム MOO の最適戦略 ゲームプログラミングワークショップ'96, 202-209.
- Turley-Ames, K. J., & Whitfield, M. M. (2003). Strategy training and working memory task performance. *Journal of Memory and Language*, **49**, 446-468.
- Turner, M. L., & Engle, R. W. (1989). Is working memory capacity task dependent? *Journal of Memory and Language*, **28**, 127-154.

- 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.
- 山崎 治・三輪和久 (1998). 類推的問題解決における図的表象外化の効果 電子情報通信学会技術報告(1998-05), 109-116.
- 山崎 治・三輪和久 (1999). 外化による問題解決促進のメカニズム 電子情報通信学会技術報告(1999-06), 65-70.
- 山崎 治・三輪和久 (2001). 外化による問題解決過程の変容 認知科学, **8**, 103-116.
- 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.

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、多くの方々からのご指導とご支援を賜りました。主査をしていただきました宮谷真人先生には、お忙しい中大変丁寧なご指導を賜りました。ワーキングメモリ学会等で先生とお話する機会がなければ、これまでの研究をこのような形でまとめることもできませんでした。厚く心より感謝いたします。副査をしていただきました中條和光先生、湯澤正通先生には、大変丁寧で今後の研究の展開につながる有意義なコメントを賜りました。厚くお礼申し上げます。心理学講座の先生方には、大変有意義なコメントをいただきました。ありがとうございました。

東海大学教育研究所の奥田富蔵先生には、本実験課題を紹介していただき、本実験課題の課題分析では大変お世話になりました。奥田先生にこの課題を紹介していただいたことが、本研究のきっかけとなりました。ありがとうございました。

大阪大学の苧阪満里子先生には、本研究の開始時より常にアドバイスをいただきました。厚くお礼申し上げます。京都大学の苧阪直行先生、船橋新太郎先生、齊藤 智先生、コロラド大学ボルダー校の三宅晶先生にはワーキングメモリ学会等で多くのご助言をいただきました。ありがとうございました。

本研究に協力いただいた実験の参加者の皆様に、感謝申し上げます。最後に、授業や研究に忙殺される日々の私を、常に暖かく見守ってくれている家族に心より感謝します。

私の「知的な旅」は、やっとその一步を踏み出しました。