



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	認知技能の熟達に伴うイメージ操作過程の変化：珠算学習者を対象にした実験的検討
Author(s)	松本, 信吾
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(文学)
Dissertation Number	甲第11636号
Issue Date	2015-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k11636
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/67524
Type	doctoral thesis
File Information	Shingo_Matsumoto.pdf



認知技能の熟達に伴うイメージ操作過程の変化

-珠算学習者を対象にした実験的検討-

松 本 信 吾

目 次

第 1 章	序論	1
第 1 節	はじめに	1
	1-1-1	イメージ操作とは
	1-1-2	本研究の議論の骨子
第 2 節	イメージ操作と運動システムの関係および熟達に伴う両者の関係性の変化	5
	1-2-1	イメージ操作と運動システムの間わりを示した研究
	1-2-2	熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化
	1-2-3	本節のまとめ
第 3 節	珠算学習者のイメージ操作と運動システムの関係性	12
	1-3-1	珠算学習者を対象に検討を行う利点
	1-3-2	珠算学習者のソロバンイメージ操作と運動システムの関係性
	1-3-3	珠算学習者が行うソロバン以外のイメージ操作
	1-3-4	先行研究で明らかにされていないこと
第 4 節	本研究の仮説と方法論	20
	1-4-1	運動システムにおける一般・特殊両運動機能の関与
	1-4-2	仮説検証のための主課題
	1-4-3	仮説検証のための二次課題
	1-4-4	仮説検証に必要な被験者候補の特性
第 2 章	技能熟達に伴う領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化に関する検討	29
第 1 節	実験参加者候補の選出および課題の難易度設定(調査)	29
	方法	29
	結果と考察	31
第 2 節	領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の検討Ⅰ:初級者の場合(実験 1)	33
	方法	34
	結果と考察	40
第 3 節	領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の検討Ⅱ:中熟達者の場合(実験 2)	45
	方法	45
	結果と考察	46
第 4 節	領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の検討Ⅲ:高熟達者の場合(実験 3)	51
	方法	51
	結果と考察	52
第 5 節	第 2 章の総括	55
第 3 章	技能熟達に伴う領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化に関する検討	59
第 1 節	珠算技能の熟達に伴うイメージ操作能力の転移に関する検討(実験 4)	61
	方法	62
	結果	71

	考察	83
第 2 節	領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性 I	89
	: 領域特殊的なイメージ操作と類似度が高い場合 (実験 5)	
	方法	91
	結果	99
	考察	122
第 3 節	領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性 II	134
	: 領域特殊的なイメージ操作と類似度が低い場合 (実験 6)	
	方法	136
	結果	142
	考察	151
第 4 節	第 3 章の総括	164
第 4 章	総合考察	166
	第 1 節 結果のまとめ	166
	第 2 節 様々な領域への本研究の寄与	177
	第 3 節 本研究の深化に向けた課題と提言	179
引用文献		182
脚注		187
謝辞		189

第1章 序論

第1節 はじめに

本研究の目的は，イメージ操作の熟達に伴い，イメージ操作と運動システムの関係性がどのように変化していくのかを明らかにすることである。この目的を達成するために，本研究では様々な熟達度の珠算学習者を対象にして，熟達に伴う両者の関係性の変化を検討していく。本節では，まず本研究で検討するイメージ操作について定義し，次いで，次節以降に展開する議論の骨子について述べていくこととする。

1-1-1 イメージ操作とは

たとえば，家具を移動すると部屋の印象がどのように変わるのかを予想するといった日常的な場面から，有機化学者が分子の構造を解明するために，色々な角度に回転した分子の状態を推測する（Stieff & Raje, 2008）といった専門的な場面まで，さまざまな状況において，我々は実際には目の前に存在しない，特定の対象を頭に思い浮かべ，それを色々な方向へ動かすといった心的操作を行う。本研究では，このような結果の予測や推論等の認知活動を行う際に想起され，かつ視覚体験に類似した主観的体験（類知覚的体験 *quasi-perceptual subjective experience*）をもたらす視覚的表象（e.g., Richardson, 1969）のことを視覚イメージ（以下，イメージと略記）と呼び，それを様々な方向に心的に動かすことをイメージ操作と呼ぶこととする。このように，本研究で検討するイメージ操作は，操作の「対象」であるイメージと，それに対する「操作」という，2つの要素の組み合わせによって成立する心的操作であり，認知

技能を構成する重要な機能の1つである。

1-1-2 本研究の議論の骨子

本研究で検討する問題は、イメージ、技能の熟達、転移(transfer)等、多くの研究領域に関連しているため、議論が錯綜してしまう可能性がある。そこで本項では、次節以降に詳述する議論の見通しをよくするため、先行オーガナイザー(advance organizer)として、まず、その骨子について簡略に記述していく。

これまでの研究から、イメージの操作には運動システムが密接に関与することが知られている(e.g., Wexler, Kosslyn, & Berthoz, 1998; Wohlschlaeger & Wohlschlaeger, 1998)。また、イメージ処理過程は、様々な技能の経験等により変化し、それに伴い、イメージ能力も変化・熟達していくと考えられている(菱谷, 1993)。これらの知見に基づくと、技能経験の累積によるイメージ操作の熟達に伴って、イメージ操作と運動システムの関係性にも変化が生じると予想される。しかし、熟達に伴い、両者の関係性がどのように変化していくのかという問題に関しては、現時点では何も分かっていない。また上述の予想を実証的に検討するような試みは、イメージ研究の分野ではほとんど行われていない。したがって、イメージ操作に関する研究の文脈からは、両者の関係を理解するための直接的なヒントを得ることは難しい。

イメージ操作とは異なるが、音楽技能の熟達がワーキングメモリーの処理機能に及ぼす効果を検討した研究から興味深い知見が得られており、この知見は間接的にはあるが、熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化という問題について、有益な示唆を与えてくれるように思える。その研究では、音楽技能の熟達者は、音楽的な音の高さ(tonal pitch: 以下、音高と略記)に特殊化された、いわば領域特异的(domain specific)

な処理機能を獲得し、それを上手く活用できるようになり、音楽経験が少ない人は、音高の処理には、特定の領域に特殊化されていない、いわゆる一般的な構音処理機能を使用していることを示唆する結果が示されている（Berti, Munzer, Schroger, & Pechman, 2006; Munzer & Pechman, 2000; Pechman & Mohr, 1992）。また熟達者は一般的な構音処理機能も駆使できるようになっていることを示唆する知見もある（Schulze, Zysset, Mueller, Friederici, & Koelsch, 2011; Geroge & Coch, 2011）。このように、音楽技能の熟達に関する研究では、熟達に伴い、領域特殊的な処理機能を獲得し、それを使いこなせるようになると同時に、一般的な処理機能も上手く活用できるようになっていくことが示されている。

もし音楽技能の熟達に関する研究で示された熟達過程が、イメージ操作の熟達においても存在するのであれば、特定のイメージ操作に習熟していくと（領域特殊的習熟）、それ以外のイメージ操作も上手くなっていく（領域非特殊的習熟）ことが予想される。また前述した菱谷（1993）の知見は、イメージ操作能力が変化していく背後では、イメージ操作と運動システムの関係性に何らかの変化が生じている可能性を示唆する。音楽技能の熟達に関する知見をイメージ操作の熟達に敷衍すると、もしかすると、イメージ操作に関わる運動機能についても、運動システム内に特殊化されたものと一般的なものが存在し、イメージ操作に熟達した人は、両機能を上手く使いこなせるようになっているのかもしれない。

これまでも特定のイメージ操作に習熟していくと、「対象」や「操作」が異なるイメージ操作にも優れていくことを示唆する、いわゆる「転移」のみについて検討した研究は存在する（Wright, Thompson, Ganis, Newcombe, & Kosslyn, 2008）。しかし、その背後で、イメージ操作と運動システムの関係性が如何に変化して

いるのかに関しては，実証的な検討は行われていない。このような問題を検討していくことは，イメージ操作のメカニズムを探る上で重要であり，イメージ研究に有益な示唆をもたらすと考えられる。そこで，本研究ではイメージ操作の熟達に伴う両者の関係性の変化を，領域特殊的-非特殊的習熟という観点から検証していくこととする。

このような検討を行うには，それほどイメージ操作に熟達していない人から，高度に熟達した人まで，多様なイメージ操作能力を有した人々を対象にし，彼らをイメージ操作能力別に分けて検討を行う必要がある。そうした検討を行うことで，熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性のダイナミックな変化を明らかにすることが可能になると考えられるからである。この問題を明らかにするには，以下のようないくつかの理由から，珠算学習者を対象に検討を行うのが妥当と考えられる。

先ず珠算学習者は，ソロバン珠の視覚的なイメージを操作して暗算を行うこと（菱谷・山内，1976），その操作は実際のソロバンでの計算と同様なものであること（Stigler, 1984）等が知られており，彼らは，少なくとも特定の課題状況下においてはイメージの操作を行うという，イメージ操作を検討する際の実験参加者としての最も主要な条件を満たしている。さらに，彼らの暗算能力は，級や段により **grading** されているので，それを基準に群分けを行えば，ある程度明確にイメージ操作能力が異なる群を構成することができ，熟達に伴う変化を検討しやすくなると考えられる。

また，ソロバンイメージ操作には運動システムが密に関与することが示唆されている（Stigler, 1984）。したがって，ソロバンイメージ操作は，イメージ操作と運動システムの関係を検討するという本研究の目的にとって，適切な対象であると考えられる。加えて，珠算学習者の

場合，操作の対象はソロバン珠イメージ，操作はその上下移動であるため，イメージ操作の対象と操作が明確に定義できる。したがって，このような領域特殊的なイメージ操作の熟達が，非特殊的なイメージ操作に，如何に転移するか，明瞭な比較が容易になると期待される。

以上の理由から，珠算学習者を暗算能力別に分けて検討を行うことによって，熟達に伴い，特定のイメージ操作のみならず，それ以外のイメージ操作と運動システムの関係性がどのように変化していくのかについて，重要な知見が得られると考えられる。したがって，本研究の目的を遂行する上で，珠算学習者は最適な実験参加者候補であるといえよう。そこで本研究では，珠算学習者を対象に，イメージ操作の熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化を検討していくこととする。具体的には，珠算学習者を暗算能力別に分け，彼らに対して，ソロバンイメージ操作やソロバン以外のイメージ操作を行わせ，それらのイメージ操作と運動システムの関係性が，熟達に伴い，どのように変化していくのかを検証していく。

以上，本節では，本研究の目的，本研究で検討するイメージ操作および本研究における議論の骨子について述べた。次節以降では，骨子で示した内容の詳細について議論を展開していくこととする。

第 2 節 イメージ操作と運動システムの関係および熟達に伴う両者の関係性の変化

本節では，イメージ操作と運動システムの間わりを示した研究を概観した後，先行知見に基づき，両者の関係性が，熟達に伴って変化していく可能性について論じていく。

1-2-1 イメージ操作と運動システムの関わりを示した研究

いくつかの研究から、イメージの操作には運動システムが密に関与することが示唆されており、そのひとつに、Wexler et al. (1998) の研究がある。彼らの研究では、実験参加者に対して、様々な角度に傾いたオブジェクトを呈示し、それが正像か鏡像かを判断させる心的回転課題 (Cooper & Shepard, 1973) と同時に、手でジョイスティックを回転させるという二重課題が課された。正像か鏡像かの判断を行うには、オブジェクトのイメージを心的に回転させねばならず、したがって、判断の時間および誤答率は回転角とともに単調に増加することが頻繁に報告されている。Wexler et al. の実験では、これと同様の結果が得られるとともに、ジョイスティックとイメージの回転方向が同じ場合は、異なる場合に比べて、心的回転課題成績が相対的に良いということも併せて示された。この結果は、イメージ操作に運動システムが密接に関与していることを示唆するものである。同様の結果は、他の研究でも得られており (Wohlschlaeger & Wohlschlaeger, 1998)、そこでもイメージ操作と運動システムの密な関係が指摘されている。

このような両者の関わりは、心的回転以外のイメージ操作においても示されている。例えば、珠算学習者が行うソロバンイメージ操作である。珠算学習者にインタビューした場合、彼らが視覚的なソロバン珠のイメージを操作して暗算を行うことが報告されている (菱谷・山内, 1976)。さらに、ある程度の技能レベルまでは、実際のソロバン珠を弾くような指の動き (以下、ソロバン指運動と略記) を伴って暗算を行うことが報告されており (冷水, 1997)、その動きを妨害すると暗算成績が低下することも知られている (Hatano, Miyake, & Binks, 1977)。また高度な熟達者は、暗算中に指を動かしてい

ないにも関わらず，視覚・運動制御に関与すると考えられている脳部位が賦活することが示されており（Hanakawa, Honda, Okada, Fukuyama, & Shibasaki, 2003），その部位は，実際のソロバン珠を弾く際にも使用されることが考えられている（田中・花川・本田，2008）。高度な熟達者に関する知見は，彼らが暗算を行う際，ソロバン指運動が内的に関与することを示唆している。これら珠算学習者に関する知見は，心的回転同様に，ソロバンイメージ操作にも運動システムが密に関与することを示唆している。

以上に述べたように，これまでの研究から，イメージ操作と運動システムには密接な関係があることが示されている。

1-2-2 熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化

前項では，イメージ操作と運動システムの関係について述べた。本項では，イメージ操作の熟達に伴い，両者の関係性が変化していく可能性について検討していく。

イメージ能力の個人差を概観した菱谷（1993）では，イメージを必要とする様々な技能の熟達者が，非熟達者よりもイメージを上手く処理できるようになることが示されている。その理由として，技能習得に際し，イメージの有効性を体験することで，イメージへの志向性が高まり，その結果，イメージ使用傾向が高くなり，イメージ処理過程が変化するということが挙げられている。また，それに伴い，イメージ能力も変化・熟達していくと考えられている。この指摘に基づく，イメージ操作の熟達に伴い，イメージ操作と運動システムの関係にも何らかの変化が生じていくと予想される。ただし，そのような予測に対する実証的な検討は行われておらず，現在までのところ，両者の関係性の変化については何も明ら

かにされていない。それゆえ、イメージ操作に関する先行知見からは、両者の関係性の変化に関して示唆を得ることは困難である。

熟達に伴う処理過程の変化に関しては、イメージ操作の熟達とは異なるが、音楽技能の熟達に関する研究において興味深い知見が得られている。その研究では、音楽技能の熟達とともに、ワーキングメモリの処理機能が変化していくことが示されており、これはイメージ操作と運動システムの関係性の変化を考える上で示唆に富むものであるように思われる。例えば、Pechman & Mohr (1992) は、音楽技能の熟達者が音高の処理を行う際、Baddeley (1986) が提唱したワーキングメモリーモデルで想定されている一般的な構音処理機能ではなく、音高に特殊化された処理機能を上手く活用しているという仮説を検証するための実験を行った。彼らの実験では、音楽技能の熟達者と未経験者に対して、音高を記憶させる課題が行われ、干渉刺激として、音高、言語、視覚に関するものが、それぞれ保持期間中に与えられた。その結果、熟達者の記憶成績は、音高に関する干渉刺激が与えられた時のみ低下し、未経験者は、全ての干渉刺激により、成績が低下した。この結果を受けて Pechman & Mohr は、熟達者は音高に特殊化された処理機能を上手く活用できるようになっており、一方で未経験者は、その機能をまだ使いこなせていないのであらうと述べている。これは、音高の処理をする際、熟達者は、領域特殊的な処理機能のみに依存しており、未経験者は、いわゆる一般的な構音処理機能に依存していることを示唆する。

また fMRI (functional magnetic resonance: 機能的磁気共鳴画像法) を用いた Schulze et al. (2011) の研究では、熟達者と未経験者が音高や言語の処理を行う際の脳活動が撮像された。その結果、未経験者とは異なり、熟達者においては、音高の処理の際にのみ賦活する

脳領域があること，さらに，熟達者が音高の処理を行う際，未経験者が言語の処理に使う脳領域も広く使用していることが示唆されている。この知見は，熟達者が音高の処理をする際，特殊化された機能のみならず，一般的な構音処理機能にも依存していることを示唆する。このことは，熟達者の音高の処理が，言語の干渉では影響を受けないことを示した Pechman & Mohr の知見とは相反するものである。ただし，Pechman & Mohr の実験では，干渉を行わない統制条件での正答率がほぼ 100% であり，課題が易しかったため，言語による干渉効果が検出されなかったのかもしれない。別の研究では，音楽とは関連のない，言語の処理に関する課題においても，熟達者は未経験者より成績が良いことが示されている（Geroge & Coch, 2011）。この結果は，熟達に伴い，一般的な構音処理機能も上手く活用できるようになっていくことを示唆している。以上を総合すると，音楽技能の熟達に伴い，音楽領域に特殊的な処理機能が獲得され，それを使いこなせるようになると同時に，音楽領域に特殊化されていない，一般的な処理機能の活用にも優れていくと考えられる。

もし，このような熟達過程がイメージ操作においても存在するのであれば，特定のイメージ操作に習熟すると，それ以外のイメージ操作も上手くなっていく可能性が考えられる。また，イメージ能力の向上には，イメージ処理過程の変化が密接に関わっていることを示唆する前述の菱谷（1993）の知見を考慮すると，イメージ操作能力の向上に伴い，イメージ操作と運動システムの関係性にも何らかの変化が生じていると予想される。先述した珠算学習者に関する知見では，ソロバンイメージ操作に熟達していくと，その操作に関連する運動が内化していくことが示唆されている（Hanakawa et al., 2003）。熟達者は外的な指の補助がなくても，運動システムを賦活

させることでソロバン指運動を内的に行えるようになり，そうした運動によって暗算を上手に行うことができるようになるということである。このことは，熟達とともに，特定の運動がイメージ操作に密接に結びついていくことを示唆するものである。これと音楽技能の熟達に関する知見を合わせて考えると，技能の熟達に伴い，特定の技能領域に関する運動に特殊化された運動制御機能が運動システム内に獲得され，その機能を上手に活用できるようになっていくことが，領域特殊的なイメージ操作の向上につながるのではないかと考えられる。また特定のイメージ操作以外にも上手になっていく可能性を考慮すると，一般的な運動制御機能も使いこなせるようになっていくと推察される。このように，技能の習熟に伴ってイメージ操作に熟達していくと，運動システム内の一般，特殊両運動機能を上手に活用できるようになっていく可能性が考えられる。

これまでの研究では，イメージ操作能力が転移すること，すなわち，特定のイメージ操作に習熟していくと，それ以外のイメージ操作も上手に行えるようになってくことが示唆されている。例えば，Wright et al. (2008)では，実験参加者に，複数の立方体で構成されたブロックを心的に回転させる課題を3週間に渡って行わせた。その結果，練習した課題だけでなく，練習では使用していないブロックの心的回転課題および，立方体の展開図を心的に折りたたむ課題の成績も向上していくが示された。この結果は特定のイメージ操作に習熟していくと，そのイメージ操作とは「対象」が異なるイメージ操作，および「対象」・「操作」とともに異なるイメージ操作も上手に行えるようになっていくことを示唆している。このような結果は，他の研究でも得られている (Terlecki, Newcombe, & Little, 2008)。

「対象」や「操作」が異なれば，イメージ操作に関わ

る運動の種類も異なると考えられる。例えば、複数の立方体で構成されたブロックを回転する場合と、立方体の展開図を折りたたむ場合では、関わる運動の種類が異なるということである。したがって、特定のイメージ操作の熟達に伴い、それ以外のイメージ操作も上手くなっていくのであれば、特定のイメージ操作に関わる運動の処理機能だけでなく、それ以外の運動に関わる処理機能も駆使できるようになっていくと予想される。もしそうならば、特定のイメージ操作だけでなく、それ以外のイメージ操作も上手く行えるように、イメージ操作と運動システムの関係性が変化していくと考えられるが、それに関する実証的な検討は行われていない。このような問題を検討することは、イメージ操作のメカニズムの一端を明らかにすることにつながるため、イメージ研究において非常に意義あるものと考えられる。そこで本研究では、特定の技能領域における習熟および転移という観点、すなわち、領域特殊的・非特殊的習熟という観点を交えつつ、イメージ操作の熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化について検討を行っていく。

1-2-3 本節のまとめ

本節では、これまでの研究が、イメージ操作と運動システムの緊密な関係を示していることを述べた。さらに、先行研究に基づき、両者の関係性は熟達とともに変化していき、運動システム内の一般的な運動機能と、領域特殊的な運動機能という2つの運動機能を上手く活用できるようになっていく可能性を述べた。また、これまでの研究では、特定の「対象」に対するイメージ上での「操作」に習熟していくと、それとは異なる「対象」や「操作」についても、イメージ上で上手く行えるようになっていくことが示されている。これは、熟達に伴い、特定のイメージ操作のみならず、それ以外のイメージ操作に

関わる運動機能も駆使できるようになることを示唆しており，上述の運動システム内に存在する2つの運動機能に関する考えを支持する結果である。しかし，実証的な検討は何ら行われていないため，本研究では，熟達に伴う両者の関係性の変化を検討することとした。次節では，このような検討に適していると考えられる珠算学習者のイメージ操作について概観していく。

第3節 珠算学習者のイメージ操作と運動システムの関係性

前節では，イメージ操作は運動システムと密な関わりがあることが述べられ，その関係は，熟達に伴い変化していく可能性が論じられた。本節では，それを明らかにするには，珠算学習者を対象に検討を行うのが適切であることを述べるとともに，珠算学習者のイメージ操作について検討した先行研究を概観していく。さらに，これまでの研究で明らかにされていない問題を整理し，本研究の目的を遂行するために必要なことを述べていく。

1-3-1 珠算学習者を対象に検討を行う利点

既述したように，本研究の目的は，イメージ操作の熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化を明らかにすることである。これを遂行するには，幅広い熟達度の人々を対象に検討を行う必要がある。すなわち，それほどイメージ操作に熟達していない人から，高度に熟達した人までを対象にし，彼らをイメージ操作能力別に分けて検討を行う必要があるということである。そうした検討を行うことにより，熟達とともに，イメージ操作と運動システムの関係性に，如何なる変化が生じていくのかを解明できると期待されるからである。この目的に合致する対象としては，以下に述べる理由から，珠算

学習者が妥当と考えられる。

前に述べたように、珠算学習者から、ソロバン珠の視覚的なイメージを操作して暗算を行うという報告が得られている（菱谷・山内，1976）。また彼らが暗算を行う際、ソロバンで計算を行う場合に特徴的な5珠の入れ忘れ等のエラーが生じること、さらに、ソロバンを使用した場合と同様の時間経過をたどって計算が進んでいくことが示されていることから、珠算学習者はソロバンイメージを実際のソロバンのように操作して暗算を行っていると考えられている（Stigler, 1984）。これらは、珠算学習者に暗算を課す場合、彼らがイメージの操作を行うことが、ある程度保証されていることを示している。このように、珠算学習者は、少なくとも、ある状況下ではイメージを操作して課題を行うという、本研究の対象者として最低限必要な能力を有しているといえよう。また彼らの暗算能力は、級（10級から1級）や段（準初段から10段）によって細かく **grading** されており、10級から1級、準初段から10段という順に上がっていく。より高い能力を有すると認定されるには、桁数や口数¹が多く、難易度の高い暗算をより高速かつ正確に行うことが求められる。すなわち、より桁数の多いソロバンイメージをより高速かつ正確に操作して暗算を行うことが求められる。それゆえ、暗算能力が高い学習者ほど、ソロバンイメージ操作能力が高いと考えられる。したがって、暗算能力を基準にすれば、ある程度明確にイメージ操作能力別に珠算学習者を分けることが可能であり、熟達に伴う変化を検証しやすくなると考えられる。

また前節で述べた冷水（1997）や Hanakawa et al.（2003）の研究では、珠算学習者が行うソロバンイメージ操作とソロバン指運動の緊密な関係が示唆されていることから、ソロバンイメージ操作には運動システムが密に関与していると考えられる。したがって、珠算学習者

が行うソロバンイメージ操作は，イメージ操作と運動システムの関係性を明らかにするための適切な検討対象であるといえよう。加えて，第 1 節で説明したように，彼らが行うソロバンイメージ操作は，操作の「対象」はソロバン珠イメージ，「操作」は上下移動であるため，イメージ操作の「対象」と「操作」が極めて明確である。したがって，このような領域特殊的なイメージ操作能力が，「対象」や「操作」の異なる非特殊的なイメージ操作に如何に転移するのかを検証しやすいと考えられる。

以上より，珠算学習者を暗算能力別に分けて検討を行うことで，技能熟達に伴う，領域特殊のおよび非特殊なイメージ操作と運動システムの関係性の変化を解明することが可能になると期待される。そこで本研究では，珠算学習者を対象に上記の問題を検討することとした。

1-3-2 珠算学習者のソロバンイメージ操作と運動システムの関係性

前項では，本研究の対象者として，珠算学習者が適していることを述べた。本項では，彼らが行うソロバンイメージ操作について検討した研究を概観していく。

珠算学習者に対しては，通常，数を表すソロバン珠の配置パターン（Figure 1-1）を理解し，ある程度ソロバン珠の操作に慣れた段階から，心的に思い浮かべたソロバン上でソロバン珠を操作して計算を行う，珠算式と呼ばれる暗算方略の指導が，珠算指導と並行して行われている。第 2 節で述べたように，このような暗算は，ある程度の技能レベルに達するまでは，ソロバン指運動を伴って行われることが知られている（冷水，1997）。また，中程度の熟達者（以下，中熟達者と略記）は，暗算を行う際，指の動きを制限したり，指でタッピングを行わせたりすると，暗算が妨害されることが報告されている（Hatano et al., 1977）。これらは，少なくとも，暗算

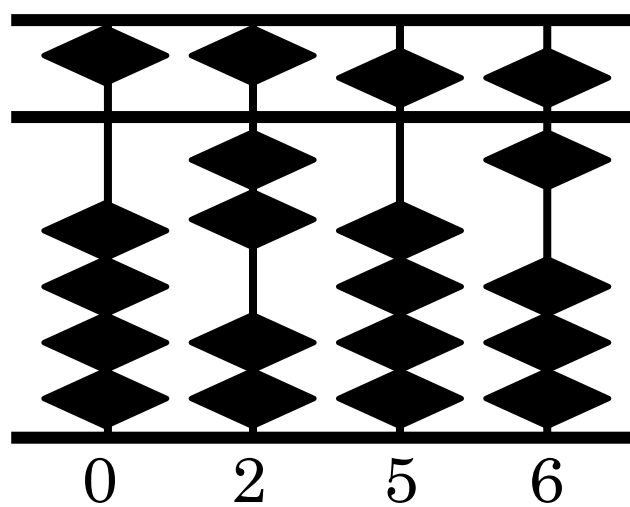


Figure 1-1 ソロバンにおける珠の配置例 (256)

技能がそれほど高くない場合，ソロバンイメージ操作と運動システムの関係が密なものであることを示唆する。

一方で，熟達がさらに進むにつれて，指の動きが徐々に小さくなり，最終的には観察されなくなることも報告されている（冷水，1997）。これらの事実は，熟達の初期段階では，ソロバンイメージ操作と運動システムは密接に関わるが，熟達に伴い，両者の関係がなくなっていくことを示唆する。

事実，前述の Hatano et al.（1977）は，その可能性を支持する結果を示している。彼らの実験では，暗算と同時に行うタッピングが暗算成績に及ぼす効果を検討していた。タッピングには運動のプランニングが関与するといわれており（Meulen, Logie, & Della sala, 2009），それを運動との密接な関わりが指摘されているイメージ操作（Wexler et al., 1998）と同時に行わせると，両者の処理過程が競合するため，干渉効果が生じることが予想される。事実，これまでの研究では，それを支持する結果が得られている（Pearson, Logie, & Gilhooly, 1999）。したがって，Hatano et al.の実験でも，タッピングがソロバンイメージ操作を妨害するはずである。しかし，高度な熟達者（以下，高熟達者）においては，タッピングの妨害効果は生じなかった。この結果を受けて Hatano et al.は，ソロバンイメージ操作に熟達していく過程において，その操作に運動システムが関与しなくなり，視覚的表象のみが関与するようになると主張している。

ただし，彼らの研究では，熟達度に関わらず同じ難易度の課題が与えられており，高熟達者においては課題が易しかったためタッピングの影響を受けなかった可能性も考えられる。すなわち，彼らのソロバンイメージ操作にも運動システムが密に関わっているにもかかわらず，課題の難易度の影響により，タッピングの干渉効果を検出できなかったということである。したがって，彼らの

主張に関しては、慎重に吟味する必要があると思われる。

事実、Hatano et al. (1977) の指摘とは異なり、高熟達者のソロバンイメージ操作にも運動システムが密接に関与することを示した研究もある。例えば、fMRI を用いた Hanakawa et al. (2003) の研究では、10 段という最高位の段位を有する熟達者の暗算中の脳活動が撮像された。その結果、暗算中に実験参加者の指は動いていないにも関わらず、運動前野や頭頂葉といった、視覚・運動制御に関与すると考えられている脳部位の賦活が見られた。この結果を受けて Hanakawa et al. は、高熟達者のソロバンイメージ操作には、運動に関わる処理プロセスが密接に関与すると主張している。また、彼らの研究で視覚・運動制御に関係する部位に賦活が見られたことは、実際のソロバン珠を指で弾くという視覚・運動制御に関わる部位が、暗算時にも使用されるようになったことを示していると考えられている（田中・花川・本田，2008）。これらは、高熟達者のソロバンイメージ操作にも運動システムが密接に関与していることを示唆するものである。高度に熟達していくとソロバン指運動が観察されなくなるという先述の知見と合わせて考えると、高熟達者の暗算にはソロバン指運動が内的に関与している可能性が考えられる。

このように、珠算学習者のソロバンイメージ操作には、熟達の程度に関わらず、運動システムが密に関わることが示唆されている。ただし、これまでの研究では、熟達度の違いにより、ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性にどのような違いがあるのかについては検討が行われていない。これを検討していくことは、技能熟達に伴う領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化を明らかにすることにつながるため、本研究において、極めて重要であるといえよう。

1-3-3 珠算学習者が行うソロバン以外のイメージ操作

前項では、熟達度に関わらず、珠算学習者のソロバンイメージ操作が、運動システムと密な関係にある可能性を述べた。本項では、先行知見に基づき、珠算学習者が行うソロバン以外のイメージ操作について述べる。

既述したように、特定のイメージ操作に習熟していくと、それ以外のイメージ操作も上手くなっていく可能性が指摘されており（Wright et al., 2008）、それに基づく、珠算学習者においても、ソロバンイメージ操作の熟達に伴い、ソロバン以外のイメージ操作にも優れていくと予想される。ただし、これまでの研究では、その予測が強く支持されているとは言い難い。

例えば、Hatta & Hirose（1991）は、熟達度別に分けた珠算学習者に、数字とひらがなの心的回転課題を課した。その結果、数字に関しては、熟達度が高いほど成績が良いことが示された。このことは、熟達に伴い、ソロバン以外のイメージ操作も上手く行えるようになっていくことを示唆しているように見える。しかし、数字は熟達者ほど見慣れた対象であり、そうした対象は、回転しなくても認識できるように記憶表象が形成されているといわれている（Koriat & Norman, 1985）。したがって、Hatta & Hiroseの結果は、イメージ操作能力が向上したというよりも、熟達者が数字を見慣れていたために生じた可能性も考えられる。

また、Hatta & Miyazaki（1989）は、珠算熟達者と珠算未経験者に対して、数字とソロバン画像および文字と一般的な画像のマッチングを行わせた。この課題では、指定された数字や文字のイメージを思い浮かべ、それと後続する画像との異同判断が求められた。その結果、両課題において、珠算熟達者の成績の方が未経験者よりも高いことが示された。このような結果が得られた理由として、Hatta & Miyazakiは、珠算熟達者においては、

イメージの生成や保持，変換や操作等が効率的に行われるようになったためではないかと述べている。これは，熟達に伴い，ソロバン以外のイメージ操作も上手くなっていくことを示唆しているとも解釈できる。しかし，マッチング課題では，思い浮かべたイメージを様々な方向に操作することは，あまり必要ではないと考えられるため，上述の結果は，イメージ操作以外の処理機能が高まったために生じたと考える方が自然であろう。

このように，熟達に伴い，ソロバン以外のイメージ操作も上手く行えるようになるという予測は，必ずしも強く支持されているとは言えないだろう。したがって，操作能力の向上により，ソロバン以外のイメージ操作も上手く行えるようになるのかを確かめる必要がある。また上述の結果が，イメージ操作能力の向上によりもたらされたのであったとしても，その背後でイメージ操作と運動システムの関係性に変化が生じているのかに関しては，全く検討が行われていない。このような問題を明らかにすることも，本研究の目的を達成する上で欠かせない，重要な検討課題であるといえよう。

1-3-4 先行研究で明らかにされていないこと

本節では，ここまで，珠算学習者のソロバンイメージ操作およびソロバン以外のイメージ操作について概観してきた。

ソロバンイメージ操作に関しては，熟達度に関わらず，運動システムとの関係が密なものであることが，いくつかの研究から示唆されている。ただし，これまでの研究では，熟達に伴い，両者の関係性に如何なる変化が生じるのかについては明らかにされていない。また，熟達に伴い，ソロバン以外のイメージ操作も上手く行えるようになっていくことを示唆する研究もいくつか存在するが，いずれも方法上の問題があり，結果の解釈には慎重にな

らざるを得ない。さらに，もしソロバン以外のイメージ操作能力も向上していたとしても，そうしたイメージ操作が運動システムとどのような関係になっているのかに関しては，これまでに調べられていない。このように，先行研究では，珠算技能の熟達に伴うソロバンイメージ操作と運動システムの関係性の変化，熟達に伴うソロバン以外のイメージ操作能力の向上，およびソロバン以外のイメージ操作と運動システムの関係性については，未だ十分には明らかにされていない。これらを検討することは，技能習熟に伴う，領域特殊のおよび非特殊なイメージ操作と運動システムの関係性の変化を明らかにすることにつながると期待される。

そこで本研究では，上記の問題に対して検討を行うこととした。次節では，上述した 3 つの問題に関する仮説とともに，それを検証するための方法論について述べる。

第 4 節 本研究の仮説と方法論

1-4-1 運動システムにおける一般・特殊両運動機能の関与

前節で述べたように，本研究では，1) 珠算技能の熟達に伴うソロバンイメージ操作と運動システムの関係性の変化，2) ソロバン以外のイメージ操作能力の向上，3) ソロバン以外のイメージ操作と運動システムの関係性という 3 つの問題について検討を行う。本節では，これらの問題を検討する際の仮説，およびそれを検証するための方法論について述べていく。

第 3 節で述べたように，珠算学習者が行うソロバンイメージ操作は，熟達度に関わらず，運動システムが密に関わっており，高度に熟達していくと，ソロバンイメージ操作とソロバン指運動が分かち難く結びついていくことが示唆されている(冷水 1997; Hanakawa et al., 2003)。

彼らが行うソロバンイメージ操作と運動システムの関係性が熟達に伴い変化していくとすれば、どのような変化が生じていると考えられるであろうか。

先述のように、音楽技能の熟達に関する知見では、熟達に伴い、領域特殊的な処理機能および領域非特殊的な処理機能を上手く使えるようになっていくことが示唆されている。この知見を珠算学習者に敷衍すると、珠算学習者のイメージ操作に関わる処理機能として、ソロバン指運動に特殊化された、いわば領域特殊的な運動制御機能（以下、特殊機能と略記）と、珠算技能に特殊化されていない、いわゆる一般的な指の運動制御機能（以下、一般機能と略記）の2つの機能を想定することは、それほど不自然ではないと思われる。運動システム内に一般、特殊という2つの運動機能が存在するというアイデアに基づけば、珠算技能の熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性は、以下のように変化していくと推察される。熟達の初期段階では、特殊機能は獲得されていないか、あるいは獲得されていても、まだそれを上手く活用できないため、主に一般機能に依存して暗算は行われる。ある程度熟達が進み、中程度の熟達段階になると、特殊機能が獲得され、それを上手く活用できるようになっていくため、特殊機能に依存して暗算は行われる。最終的に高度な熟達段階になると、一般機能も上手く活用できるようになり、両機能に同等に依存して暗算は行われるようになるというものである。

それでは、ソロバン以外のイメージ操作と運動システムの関係性はどのようなになっていると考えられるであろうか。領域非特殊的である一般的なイメージ操作は、基本的には、珠算技能に特殊化されていない、一般機能に依存して行われるであろうと予想される。一方で、特殊機能への依存に関しては、以下に述べる理由から、ソロバンイメージ操作との類似度に規定されると推察される。

これまでの研究から，学習課題と類似したものには能力の転移が生じやすいといわれており (Kimball & Holyoak, 2000)，これは，能力を支える機能が，学習課題と類似したものにも使用されることを示唆する。前述のように，イメージ操作とは，「対象」と「操作」の組み合わせにより行われる心的操作であることを考慮すると，イメージ操作における類似とは，習熟したイメージ操作の「対象」や「操作」との類似度によって規定されと考えられる。これらを総合すると，「対象」や「操作」がソロバンイメージ操作と類似したイメージ操作には，特殊機能も関与すると予想される。また音楽技能の熟達者が，一般，特殊両処理機能を上手く活用できるようになっていることを踏まえると，珠算学習者においても，高熟達者ほど一般，特殊両機能の活用に使われている可能性が考えられる。そのため，ソロバンイメージ操作との類似度に関わらず，熟達の程度が低い学習者に比べて，高熟達者ほど成績が高くなると予想される。先述の Hatta & Hirose (1989) において，ひらがなの心的回転では群間差が生じなかったのは，彼らの実験参加者は，最も高度な熟達群であっても珠算能力の平均が1級程度であり，群間で一般機能や特殊機能の活用の程度にそれほど差がなかったからではないかと思われる。

以上のように，珠算技能の熟達に伴い，ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性はダイナミックに変化していくと予想される。また上述した予測も踏まえると，ソロバン以外のイメージ操作は，全ての熟達度の珠算学習者において，基本的には一般機能に依存するが，中・高熟達者では，ソロバンイメージ操作との「対象」や「操作」の類似度に応じて，特殊機能にも依存する可能性が考えられる。次項以降では，この予測を検証するための方法論について，主課題，二次課題，被験者の順に述べていく。

1-4-2 仮説検証のための主課題

本項では前節で述べた仮説を検証するための主課題について述べる。

ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性の検証に際しては，Hatano et al. (1977)と同様に，暗算課題を採用するのが妥当と思われる。一方で，ソロバン以外のイメージ操作と運動システムの関係性の検証に際しては，これまでにソロバンイメージ操作との類似度を考慮した課題を用いた検討は行われておらず，十分な配慮が必要になると思われる。

珠算学習者を対象にした聞き取り調査から，彼らが思い浮かべるソロバンイメージは，円形の珠で構成されたものであるといわれている（大木，2001）。また先述のように，彼らは実際のソロバン珠の操作のように，ソロバンイメージを操作して暗算を行うことが知られている（Stigler, 1984）。これらを総合すると，彼らが行うソロバンイメージ操作とは，複数の円によって構成された数を表すパターンを，直線的に上下に操作して計算を行うものであると考えられる。すなわち，ソロバンイメージ操作は，複数の円によって構成された空間パターンという「対象」と，上下方向に直線的に動かすという「操作」の組み合わせによって行われるものであるといえよう。これに基づく，ソロバンイメージと類似した「対象」としては，円形の珠で構成されてはいるが，ソロバンでは見られない配列のパターン（以下，円パターンと略記），類似していないものとしては，ソロバンイメージでは使用されない，円以外の複数の図形（たとえば，三角形や四角形等）を組み合わせで構成されたパターン（以下，複合パターンと略記）が考えられる。ソロバンイメージ操作と類似した「操作」としては，直線的な左右方向への操作，類似していないものには，回転操作が

考えられる。

このようなソロバンイメージ操作との類似度を考慮したイメージ操作課題を行う場合、「対象」も「操作」も同じという組み合わせ（暗算課題）を除くと、以下の 8 通りの組み合わせが考えられる（Table 1-1）。まず「対象」が同じで、「操作」が類似したもの、「対象」が同じで、「操作」が類似していないものである。次に「対象」が類似で、「操作」が同じもの、「対象」が類似で、「操作」も類似したもの、「対象」が類似で、「操作」が類似していないものがあげられる。さらに、「対象」が類似しておらず、「操作」が同じもの、「対象」が類似しておらず、「操作」が類似したもの、「対象」が類似しておらず、「操作」も類似していないものという組み合わせが考えられる。本研究では、この中から、「対象」が類似で、「操作」が同じもの、「操作」も類似したもの、「操作」が類似していないもの、および「対象」が類似しておらず「操作」も類似していないものという 4 通りの組み合わせのイメージ操作課題を行わせることとした。これらを検証することで、両者とも類似している、一方のみが類似している、両者とも類似していないという、類似度が様々に異なる場合に、一般機能や特殊機能の使われ方に違いがあるかどうかを明らかにすることが可能になると考えられたからである。このような理由から本研究では、ソロバンイメージ操作課題としての暗算課題以外に、「対象」・「操作」ともにソロバンイメージ操作と類似していると考えられるものとして、円パターンを心的に上下・左右に操作する課題、「対象」のみが類似し「操作」は類似していないと考えられるものとして、円パターンの心的回転課題を採用した。また、「対象」・「操作」ともに類似していないと考えられるものとして、複合パターンを心的に回転させる課題を採用した。

Table 1-1 「対象」と「操作」の類似度の組み合わせ

●はソロバンイメージ操作課題で，○はソロバン以外のイメージ操作課題で検討するもの。

		操作		
		同じ	類似	非類似
対象	同じ	●	—	—
	類似	○	○	○
	非類似	—	—	○

1-4-3 仮説検証のための二次課題

前項で述べたように，本研究では，暗算課題，ソロバンイメージ操作と類似，および類似していないと考えられるイメージ操作課題を珠算学習者に行わせる。本研究の目的である，熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化を明らかにするには，これらの課題と同時に，一般機能や特殊機能に干渉するような課題を課するという，二重課題法を用いた検討を行うのが妥当と考えられる。この方法では，2つの課題を同時に行わせた場合に，どちらか一方，あるいは両方の課題に干渉効果が生じたら，両者は処理過程を共有しているとみなし，干渉効果が生じなければ，両者は処理過程を共有していないとみなす。例えば，一般機能に干渉すると考えられる課題によって，あるイメージ操作が干渉されたら，そのイメージ操作は一般機能を使用しているとみなすというものである。先述の Hatano et al. (1977) においても同様の方法が採用されており，暗算と同時に行うタッピングが暗算課題に及ぼす効果を検討していた。イメージ操作と同時に行わせるタッピングは，イメージ操作に干渉することが知られており (Pearson et al., 1999)，本研究でも，干渉課題としてタッピングを採用することとした。本研究で想定する特殊機能はソロバン指運動に特殊化されたものであるため，ソロバン指運動と同等の指の動きのパターン（以下，関連タッピングと略記）によって干渉されると予想される。一般機能に関しては，ソロバン指運動では見られない，一般的な指の動きのパターン（以下，非関連タッピング）によって干渉されると考えられる。特殊機能を獲得していない場合は，領域特異的な運動にも，領域非特異的な運動にも一般機能が使用されると予想されるため，非関連・関連両タッピングによって一般機能が干渉されると考えられる。Hatano et al. では，指で机をたたくというタッピングが採用さ

れていたもので、本研究ではそれにならい、非関連タッピングは叩くという動きのパターンを行わせるものとした。

これら2種類のタッピングを暗算と同時に行わせた場合、前項で述べた予測に基づく、初級者は主に一般機能に依存して暗算を行っていると考えられるため、非関連・関連両タッピングの影響を同等に受けると予測される。中熟達者に関しては、特殊機能に依存して暗算が行われるため、関連タッピングの干渉効果が生じ、高熟達者は、一般機能も上手く活用できるようになり、一般、特殊両機能に同等に依存して暗算を行うため、両タッピングの影響を同等に受けると予測される²。ソロバン以外のイメージ操作に関しては、中・高熟達者は「対象」や「操作」が類似したものを含んでいる場合、一般機能だけでなく特殊機能も関与すると考えられるため、両タッピングにより干渉され、「対象」も「操作」も類似していない場合は、非関連タッピングのみの影響が見られると予測される。一方、初級者の場合、ソロバンイメージ操作との類似度に関わらず、非関連・関連タッピングの干渉を受けると予測される。

1-4-4 仮説検証に必要な被験者候補の特性

前項で述べた予測を検証するには、暗算能力別に珠算学習者を分けて検討を行う必要がある。前述のように、珠算学習者は熟達が進むにつれて暗算時の指の動きが小さくなっていき、最終的に高度な熟達段階になると、指を使わずに暗算を行えるようになるといわれている(冷水, 1997)。したがって、高熟達者としては、指を使わずに暗算を行える学習者を、中熟達者としては、指を使って暗算を行う学習者の中で、暗算技能が高い学習者を、初級者としては、指を使い、かつ暗算技能が低い学習者を選出するのが適切であると考えられる。

4段以上になると指を動かさずに暗算を行えるように

なっていくという冷水（1997）の指摘を考慮すると、高熟達者としては4段以上の学習者を選出するのが適切と思われる。しかし、冷水の主張は観察結果のみに基づいたものであるため、実際に4段以上になると指を動かさずに暗算を行えるようになるのかどうか、多数の珠算学習者に対して調査を行い確かめる必要がある。中熟達者と初級者に関しては、1級以上の習熟段階になると、イメージ能力が大きく変化していくといわれていることから（Hatta & Hirose, 1991）、中熟達者には1级以上3段以下の学習者を、初級者には2級以下の学習者を選出するのが妥当と思われる。

また、それぞれの熟達度において適切な課題の難易度も異なることが予想されるため、暗算可能桁数を熟達度別に確認しておく必要もある。そこで本研究では、まずこれらのことを確認するための調査を行うこととした。その後、その結果に基づき、初級群（実験1）、中熟達群（実験2）、高熟達群（実験3）に暗算と同時に非関連・関連タッピングを課す実験を行う。さらに、熟達に伴い、ソロバン以外のイメージ操作能力も向上していくのかを検証するため、タッピングは行わずに、ソロバンイメージ操作と「対象」・「操作」ともに類似した課題を行わせる（実験4）。その後、その課題と同時に両タッピングを行わせ（実験5）、さらにソロバンイメージ操作と「対象」のみが類似し「操作」は類似していない、および「対象」・「操作」ともに類似していないイメージ操作課題と同時に両タッピングを行わせる（実験6）こととした。

第2章 技能熟達に伴う領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化に関する検討

第1節 実験参加者候補の選出および課題の難易度設定（調査）

本研究では、イメージ操作の熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化を解明するため、珠算学習者を対象にした検討を行う。具体的には、熟達に伴い、一般、特殊両機能を上手く活用できるようになっていくという仮説（第1章第4節参照）を検証するために、珠算学習者が暗算やソロバン以外のイメージ操作課題を行う際に、非関連・関連両タッピングを行わせる。この仮説の検証に際しては、珠算学習者を暗算能力別に分けて検討を行う必要がある。前章の1-4-4で述べたように、高熟達者としては4段以上で指を動かさずに暗算が可能な学習者、中熟達者、初級者には、それぞれ、暗算時に指を動かす1級以上3段以下の学習者、暗算時に指を動かす2級以下の学習者を選出するのが適切と考えられる。本研究では、先ず、これらの条件に該当する実験参加者を選出するための調査を行った。また暗算可能な桁数も各熟達度で異なると考えられたため、本調査では最大暗算可能桁数も合わせて確認した。

方法

調査参加者

調査には珠算学習者144名が参加した（Table 2-1）。未成年者には事前に本人への説明を行った後、本人と保護者の同意を得た上で調査に参加してもらった。

手続き

Table 2-1 調査参加者の内訳

暗算技能	参加人数	平均年齢	暗算時に 指を動かす人数	暗算時に 指を動かさない人数
2 級以下	34 (男 11, 女 23)	10.6	32	2
1 級以上 3 段以下	45 (男 11, 女 34)	11.1	43	2
4 段以上	65 (男 26, 女 39)	13.4	22	43

調査は，調査参加者が所属する珠算塾において，参加者ごとに個別に行われた。最初に，調査参加者に対して質問紙の概要が説明され，次いで，不明な点があれば確認するよう注意が与えられた。その後，質問紙を配布し，調査参加者のペースで質問事項に記入してもらった。時間制限は特に設けなかった。具体的な質問内容は，暗算時に指を動かすかどうかと暗算可能桁数であり，前者については「動かす・動かさない」のどちらかを選択させて回答させた。後者に関しては，記入欄に直接，桁数を記入させた。

結果と考察

Table 2-1 に基づき，暗算時に指を動かすかどうかという要因と，暗算技能の要因について χ^2 検定を行ったところ，有意となり ($\chi^2(2) = 60.550, p < .001$)，残差分析の結果，全ての熟達度において，暗算時に指を動かすかどうかという要因に関し，有意差 ($|rs| > 2.58, ps < .01$) があった。この結果は，3 段以下の 2 群では暗算時にはほぼ全員が指を動かし，4 段以上では指を動かさない人が有意に多いことを示している。後者の結果は，4 段以上になると暗算時に指を動かさなくなる傾向にあるという冷水 (1997) の主張を支持するものであった。しかし，Table 2-1 に示すように，2 級以下，1 級以上 3 段以下であっても暗算時に指を動かさない，あるいは，4 段以上であっても指を動かす参加者もいた。熟達に伴うソロバンイメージ操作と運動システムの変化は，各熟達度において，標準的な暗算技能を有していると考えられる学習者のみを対象にする方が検出しやすいと予想される。そこで本研究では，2 級以下，および 1 級以上 3 段以下では，暗算時に指を動かす学習者，4 段以上では暗算時に指を動かさない学習者を，それぞれ初級者，中熟達者，高熟達者とみなし，実験参加者候補とした。これら初級，中熟達，高熟達者における暗算可能桁数

は、それぞれ 2.2 桁、2.9 桁、4.0 桁であった。これに関して、熟達度を要因とする 1 要因参加者間分散分析を行ったところ、主効果が有意となった ($F(2, 115) = 48.901, p < .001$)。ライアン法による多重比較の結果、全条件間に有意差が見られた：初級者と高熟達者間 $t(115) = 9.643, p < .001$ ；初級者と中熟達者間 $t(115) = 3.732, p < .001$ ；中熟達者と高熟達者間 $t(115) = 6.399, p < .001$ 。したがって、それぞれの熟達度における課題の難易度を適切にするには、熟達群毎に課題は異なるものにすることが必要がある。また、本研究ではタッピングと同時に暗算を行わせるため、初級者と中熟達者の課題には、慎重に配慮を行う必要があると考えられる。なぜなら、たとえば指を動かして 3 桁の暗算を行える学習者に、タッピングと同時に 3 桁の暗算を課し、その結果、暗算成績が低下したとしても、それはタッピングの干渉効果ではなく、指を使用できなかったことにより生じたとも考えられ、結果の解釈が困難になるからである。

この問題に関連して、調査に協力いただいた珠算塾の複数の講師から、桁数や口数が小さいといった、より易しい課題であれば、初級者、中熟達者ともに指を使用せずに暗算を行うことができるという報告が得られた。これを考慮すると、中熟達者は、暗算可能桁数よりも小さい 2 桁程度の桁数であれば、指を使用せずに暗算を行うことができると考えられる。初級者は、口数が小さければ、指を使用せずに 2 桁の暗算を行うことが可能になると予想される。こうした配慮により、タッピングの干渉効果に対する適切な解釈が可能になると思われる。一方、高熟達者は指を動かさずに暗算を行えるため、暗算可能桁数と同等の桁数であったとしても、タッピングによる成績の低下を適切に解釈できると考えられる。そこで本研究では、初級者には 2 桁 4 口³、中熟達者には 2 桁 7 口、高熟達者には 4 桁 7 口の見取り暗算を課すこととし

た。このように，それぞれの熟達度で遂行する課題が異なるため，個々の群毎にデータを分析し，考察するのが妥当と考え，実験は初級者（実験 1），中熟達者（実験 2），高熟達者（実験 3）に分けて行うこととした。

第 2 節 領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の検討 I：初級者の場合（実験 1）

先述のように，珠算学習者は熟達に伴い，特殊機能を獲得し，それを駆使できるようになる一方で，一般機能も上手く活用できるようになっていくという仮説を立てた。これに従うと，熟達の程度が低い初級者は，特殊機能をまだ獲得していないか，あるいは獲得していても，それを上手く活用できないため，主に一般機能に依存して暗算を行っていると予想される。特殊機能が活用されていない場合，領域特殊的なソロバン指運動にも，非特殊的な一般的な運動にも，一般機能が使用されると考えられる。したがって，初級者の暗算は，非関連・関連両タッピングによって同等に影響を受けると予測される。

実験 1 では，この予想を確かめるために自由・非関連・関連の 3 条件間で，課題の正答率，正答反応時間を比較した。自由条件では，実験参加者に暗算を自由に行わせ，非関連条件と関連条件では，暗算と同時に，それぞれ非関連・関連タッピングを行わせた。非関連タッピングは，右手の人差し指と薬指を交互に動かして一定の小領域を叩くという，ソロバン指運動では見られない動きのパターンであった。ソロバン指運動で使用される人差し指も対象にしたのは，中指・薬指・小指のいずれか 2 つの組み合わせでは，それ以外の組み合わせに比べ，指を意図どおりに自在に，かつ素早く動かすことがより困難であり，そのことが課題成績に影響を及ぼす可能性が考えられたためである。関連タッピングは，親指と人差し指を交互

に動かしてソロバン指運動を行うような動きのパターンであった。暗算課題へのタッピングの干渉効果は、タッピングそのものの難易度の違いによって変化する可能性も考えられる。そこで本研究では、ベースラインのタッピング回数を計測する課題（以下、タッピングベース試行と略記）を行い、その回数を難易度の指標とし、各タッピングの難易度に違いがないかも検討した。

方法

実験参加者

実験には、2級以下の初級者16名（男性7名，女性9名：平均年齢10.6歳：平均珠算経験37.4ヶ月）が参加した。参加者は前述の実験参加者候補のうち、同意の得られた珠算学習者であった。

課題

1桁の乱数を2つ生成し、それらを組み合わせて十の位と一の位が異なる2桁の数，4個からなる暗算課題を自由，非関連，関連の各条件用に20問ずつ，計60問作成した。暗算課題は先行研究（Hatano et al., 1977）と同様に加算とした。

なお予備実験として，事前に実験とは別の2級以下の初級者5名（男性1名，女性4名：平均年齢9.8歳：平均珠算経験38.8ヶ月）に，各条件の課題群を自由に行わせた。その結果，自由，非関連，関連用の各課題群に対する平均正答率と，課題が呈示され，その答えに対する口頭反応が生じるまでの平均反応時間は，それぞれ92，92，85%，および4641，4404，4301msであった。課題群（自由用 vs. 非関連用 vs. 関連用）を要因とする1要因参加者内分散分析を行った結果，正答率（ $F(2,8) = 1.671, n.s$ ），反応時間（ $F(2,8) = 1.775, n.s$ ）ともに課題群間に有意差は見られず，各条件用の課題の難易度は同等であることが確認された。

実験装置

刺激呈示, 反応時間の記録には, iBook (Apple 社製), マイク (audio-technica 社製 AT9745) を用い, 実験制御には Psyscope X B51 (Cohen, MacWhinney, Flatt, & Provost, 1993) を使用した。タッピング反応の記録には, 自作による 2 種類のタッピング装置, Windows PC (VAIO, SONY 社製) を用い, 反応記録制御には Real Basic (REAL Software 社製) による自作のプログラムを使用した。

タッピング装置

両タッピング装置とも, 実験参加者がタッピングしやすいように, 正方形のプラスチック・パッチ (2cm×2cm, 厚さ 0.5mm) がマイクロスイッチ (オムロン社製 SS-5GL) のレバー部分に貼り付けられていた。非関連タッピング装置では, 2 つのスイッチが 5cm 間隔で並置され, スwitchの底面が机上面に平行になるようにフレームに取り付けられていた (Figure 2-1)。実験参加者から見て左側に配置されたスイッチは人差し指で, 右側に配置されたスイッチは薬指でタップされた。関連タッピング装置では, 2 つのスイッチの底面が机上面に対して 90 度をなし, かつ両者が平行するように, 5cm 間隔でフレームに取り付けられていた (Figure 2-2)。これは, 実際のソロバンにおける 5 珠と最下に位置する 1 珠の間隔と同等であり, 人差し指と親指を交互に動かして 2 つのスイッチを交互にタップすることで, ソロバン指運動と同等の動きが自然に生じるように設計されていた。参加者から見て奥に配置されたスイッチは人差し指で, 手前に配置されたスイッチは親指でタップされた。実験参加者が装置を区別しやすいように, 非関連タッピング装置には赤の, 関連タッピング装置には黄色の円形シールが貼られていた。各タッピング装置は, 刺激呈示用のパソコンの右側に配置された。非関連・関連タッピングと

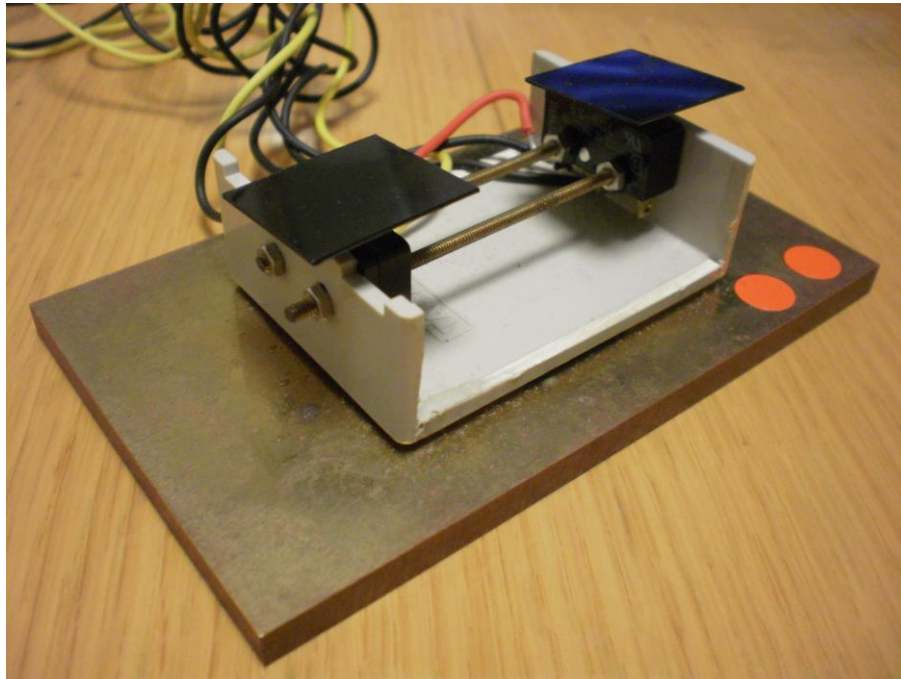


Figure 2-1 非関連タッピング装置

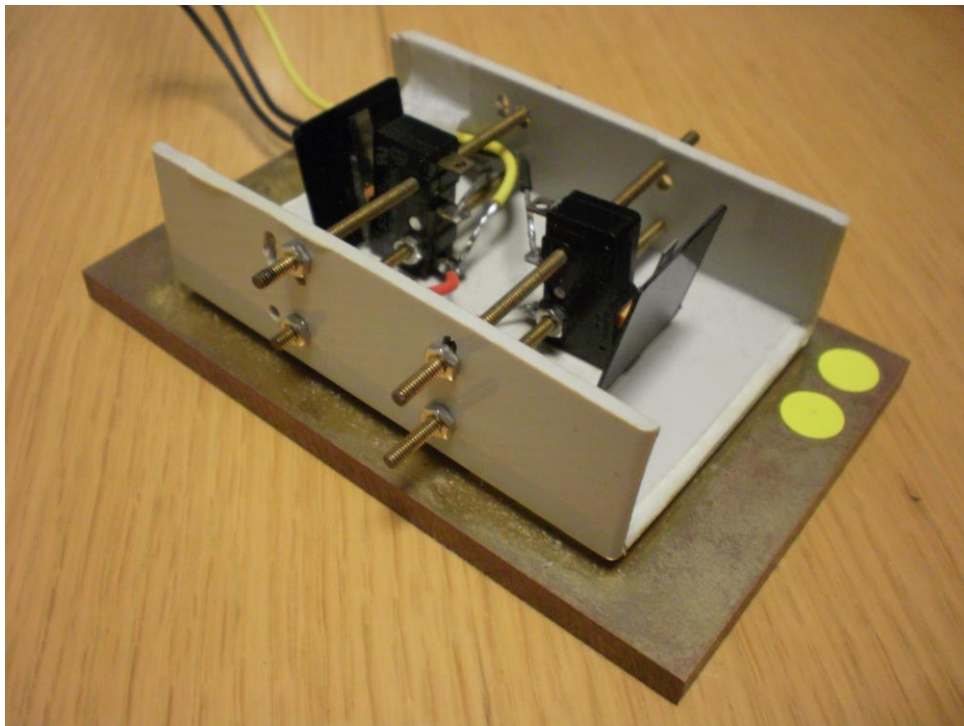


Figure 2-2 関連タッピング装置

もに，指定された指を動かし，できるだけ速く正確に 2 つのスイッチを交互にタップし続けるように求められた。

手続き

実験は実験参加者が通う珠算塾で，参加者ごとに個別に実施された。参加者は実験用のパソコンが置かれた机の前に座り，実験者から実験概要の説明を受けた。その後，音声スイッチとして使用されるマイクが参加者の喉に取り付けられ，実験が開始された。

1 試行の流れは，Figure 2-3 に示されているとおりである。ブランク画面 1 の後，暗算を行う際の条件が指定された。自由条件では「自由に暗算して下さい」という文が呈示され，実験参加者は特に何もせず待つように求められた。非関連・関連条件では，暗算と同時にタッピングを行うことを教示する「○（使用するタッピング装置に貼付されたシールと同色の小円）を使って暗算して下さい」という文が呈示され，参加者は指定された色のシールが貼られたタッピング装置に手を置くように求められた。その後，自由条件では「準備してください」，非関連・関連条件では「指を動かしてください」という教示文が 1000ms 呈示され，実験参加者は，自由条件では暗算の準備をして待つように，非関連・関連条件ではタッピングを開始し，暗算課題に答えるまで，できるだけ速く正確に続けるように求められた。教示文の呈示に続き暗算課題が呈示され，反応時間の計測が開始された。実験参加者は暗算課題をできるだけ速く正確に口頭で回答するように求められた。回答と同時に，彼らの喉に取り付けられたマイクが声を感じし，反応時間の計測が終了した。暗算条件（自由・非関連・関連）の提示順は，同じ条件が 2 回続かないように参加者ごとに疑似ランダムに設定された。実験参加者の回答は実験者が筆記した。

タッピングベース試行

1 試行の流れは，教示文の呈示までは本試行と同様で

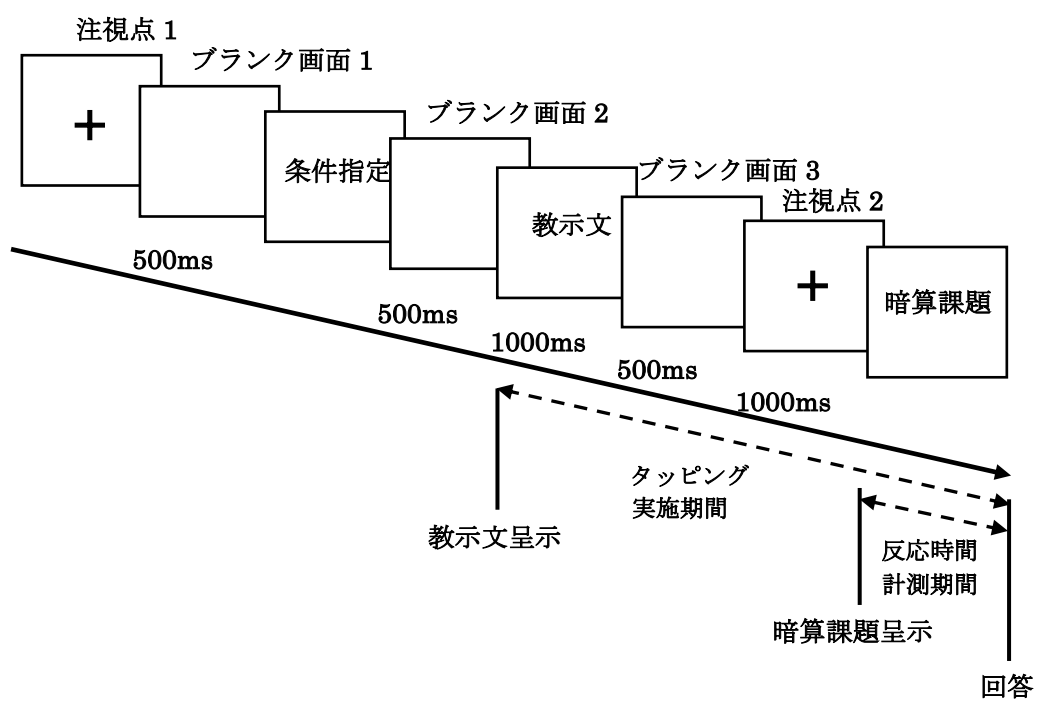


Figure 2-3 実験 1～3 における本試行の流れ

注視点 1 と条件指定では，実験者のキー操作により次の画面へと進んだ。

ある (Figure 2-4)。その後、ブランク画面 3 が 5000ms 呈示された。実験参加者は、その間できるだけ速く正確にタッピングを続け、5000ms 後に「終了」の文字が呈示されたら止めるように求められた。ブランク画面 3 および「終了」の文字が呈示される直前のビープ音を合図に実験者がキー操作を行うことで、その間のタッピング回数が記録された。なお本研究では、イメージ操作に及ぼすタッピングの干渉効果に主眼が置かれていたため、ベースラインの回数に比して、本試行のタッピング回数がどの程度減少するのかに関しては、特に検討を行わないこととした。参加者の半数は非関連タッピングを先に行い、残りの参加者は関連タッピングを先に行った。

実験 1 は練習試行 (9 試行)、タッピングベース試行 1 (2 試行)、本試行 1 (30 試行)、タッピングベース試行 2 (2 試行)、本試行 2 (30 試行)、タッピングベース試行 3 (2 試行) という順序で、それぞれの間に若干の休憩を挟みながら行われた。練習試行は自由、非関連、関連の各条件を 3 試行ずつ、本試行は 1, 2 とともに各条件 10 試行ずつであった。

結果と考察

まず、タッピング回数に関する分析を行った。タッピングベース時のタッピング回数に関しては、交互にタッピングしているセット、たとえば、非関連タッピングであれば人差し指 (薬指) のタップの後に薬指 (人差し指) がタップしているものを 1 回として回数を数え、それを計測時間で割り、1 秒当たりの回数を算出した。平均タッピング回数および標準偏差は、非関連タッピングが 1.7 回 (0.5)、関連タッピングが 1.7 回 (0.6) であり、分析の結果、非関連・関連条件間で有意差は見られなかった (両側検定 $t(15) = .658, n.s.$)。この結果は、両タッピングの難易度が同等であることを示している。したがって、暗算に対するタッピングの干渉効果の解釈に際して

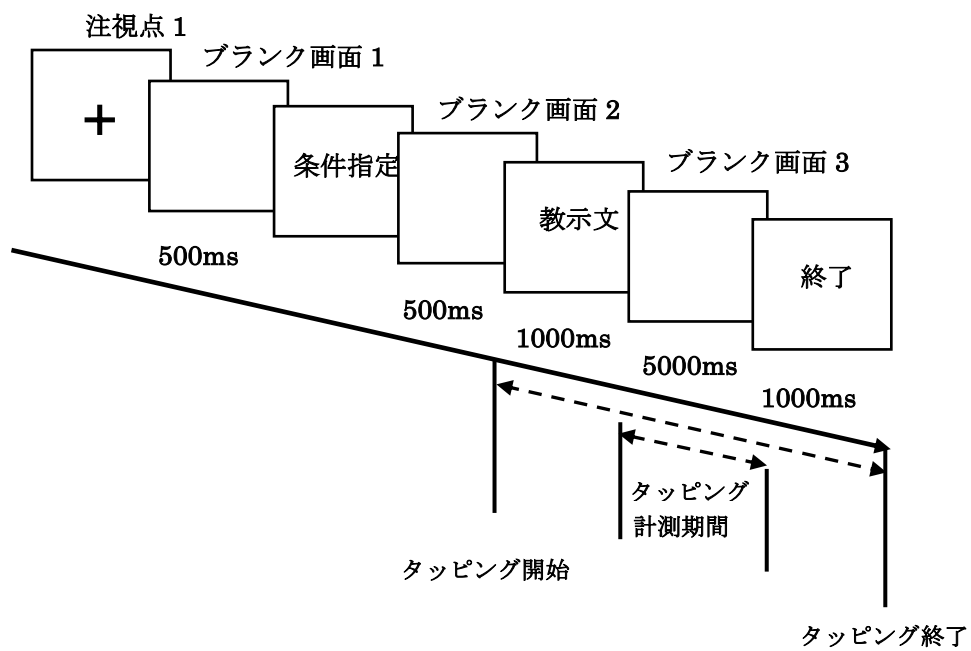


Figure 2-4 実験 1～3 におけるタッピングベースライン試行の流れ
 注視点 1 と条件指定では，実験者のキー操作により次の画面へと進んだ。

は，特別な配慮を行う必要はないと考えられる。すなわち，暗算課題に及ぼす各タッピングの干渉効果が違っていても，それに対してタッピングの難易度の影響を考慮する必要がないということである。

次に，正答率と正答時の反応時間に関して，暗算条件（自由 vs. 非関連 vs. 関連）を要因とする 1 要因参加者内分散分析を行ったところ，共に有意差が得られた。正答率（ $F(2, 47) = 3.962, p < .05$ ）に関して，ライアン法を用いた多重比較を行ったところ，自由と非関連条件間（ $t(30) = 2.249, p < .05$ ），関連条件間（ $t(30) = 2.604, p < .05$ ）に有意差が見られ，非関連と関連条件間（ $t(30) = .342, n.s.$ ）には，有意差はなかった（Figure 2-5）。反応時間（ $F(2, 47) = 5.130, p < .05$ ）についても同様の多重比較を行った結果，自由と非関連条件間（ $t(30) = 2.918, p < .05$ ），関連条件間（ $t(30) = 2.604, p < .05$ ）に有意差が見られ，非関連と関連条件間には有意差が見られなかった（ $t(30) = .314, n.s.$ ）（Figure 2-6）。

本実験では，初級者が行うソロバンイメージ操作と運動システムの関係性を検討した。初級者の場合，特殊機能は獲得されていないか，あるいは獲得されていても，まだ上手く活用できないため，珠算技能に特殊化されていない，いわゆる一般機能に依存してソロバンイメージ操作が行われていると予想される。特殊機能が活用されていない場合，ソロバン指運動およびそれ以外の一般的な運動には，一般機能が使用されると考えられるため，初級者のソロバンイメージ操作は，非関連・関連両タッピングの影響を同等に受けると予想された。

実験の結果，正答率，反応時間とも，両タッピング条件間に妨害効果の差はなく，妨害の程度は同等であることが示された（Figure 2-5, 2-6）。したがって，少なくとも本実験における初級者に関しては，特殊機能は獲得されていないか，あるいは獲得されていてもまだ上手く

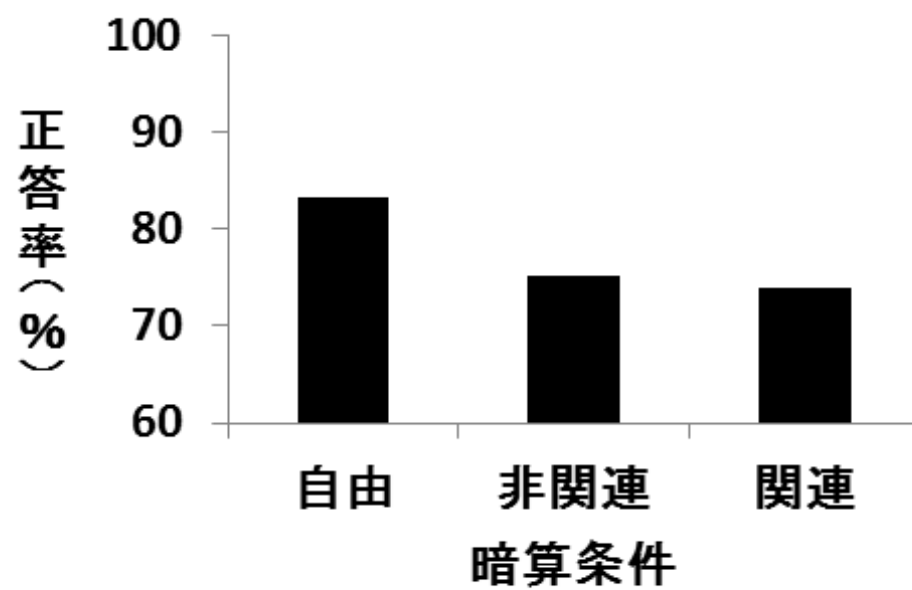


Figure 2-5 各暗算条件における珠算初級者の正答率（実験 1）

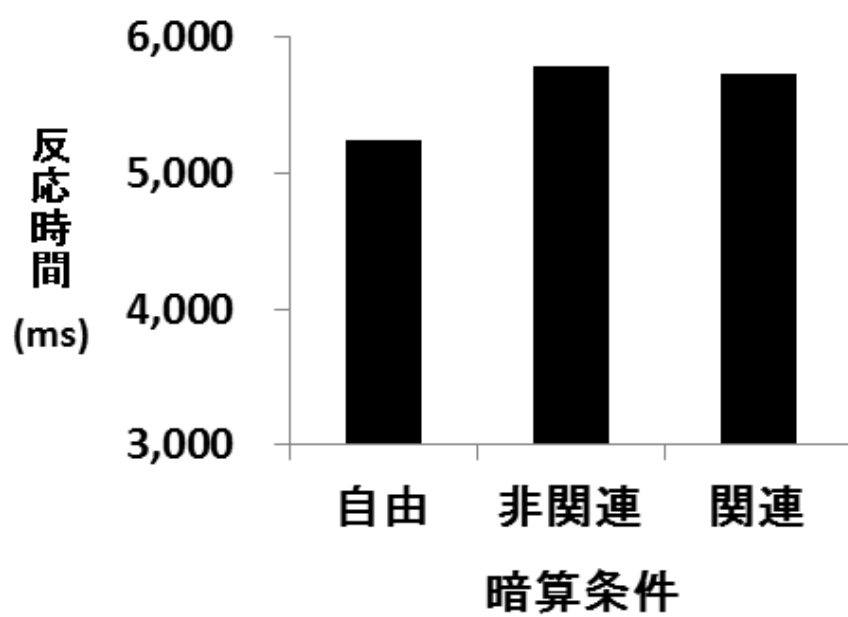


Figure 2-6 各暗算条件における珠算初級者の反応時間（実験 1）

活用できないため，主に一般機能に依存して暗算を行っていると思われる。ただし，結果の解釈には慎重になる必要がある。なぜなら，初級段階において，すでに特殊機能を獲得し，その機能とともに一般機能も上手く活用できるため，両機能に同等に依存し，それゆえ両タッピングの影響を同等に受けたとも考えられるからである。したがって，実験 1 の結果の解釈については，後の実験結果を受けてから行うのが妥当と考えられる。

第 3 節 領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の検討Ⅱ：中熟達者の場合（実験 2）

実験 2 では，中熟達者のソロバンイメージ操作と運動システムの関係性を検討した。中熟達者においては，特殊機能が獲得され，それをある程度上手く活用できるようになっていると推察される。特殊機能はソロバン指運動に特殊化されたものであり，一般機能よりも暗算に適した機能であると考えられる。したがって，彼らのソロバンイメージ操作は，特殊機能に依存して行われ，暗算課題に対しては，関連タッピングの干渉効果のみが生じると予想される。本実験では，この予想が検証された。

方法

実験参加者

実験には，1 級から 3 段の中熟達者 16 名（男性 4 名，女性 12 名：平均年齢 11.2 歳：平均珠算経験 51.3 ヶ月）が参加した。参加者は，調査結果に基づく実験参加者候補のうち，同意を得られた珠算学習者であった。

課題，装置および手続き

1 桁の乱数を 2 つ生成し，それらを組み合わせて十の位と一の位が異なる 2 桁の数，7 個からなる暗算課題を自由，非関連，関連条件用に 20 問ずつ，計 60 問作成

した。

予備実験として、事前に実験とは別の1級と初段の中熟達者6名（男性2名，女性4名：平均年齢10.7歳：平均珠算経験44.8ヶ月）に各条件の課題群を自由に行わせた。その結果，自由，非関連，関連用の課題に対する平均正答率と正答時の平均反応時間は，それぞれ92，89，88%，および4554，4780，4445msであった。課題群（自由用 vs. 非関連用 vs. 関連用）を要因とする1要因参加者内分散分析を行った結果，正答率（ $F(2,10) = .396, n.s.$ ），反応時間（ $F(2,10) = 2.901, n.s.$ ）ともに課題群間に有意差は見られず，各条件用の課題の難易度は同等であることが確認された。実験装置，タッピング装置，手続きは全て実験1と同様であった。

結果と考察

タッピングベース時における各タッピングの平均回数および標準偏差は，非関連タッピングが1.8回（0.7），関連タッピングが2.3回（1.2）であった。これに対して分析を行ったところ，実験1同様，ベース時のタッピング回数に関して，条件間で有意差は見られなかった（ $t(15) = 1.734, n.s.$ ）。したがって，本実験においても，暗算に対するタッピング効果の解釈に際しては，特別な配慮を行う必要はないと考えられる。

正答率と反応時間に関して，暗算条件（自由 vs. 非関連 vs. 関連）を要因とする1要因参加者内分散分析を行った結果，両者ともに有意差が見られた。正答率（ $F(2,47) = 12.583, p < .001$ ）に関して，ライアン法による多重比較を行った結果，全ての条件間に有意差があった（自由と非関連条件間 $t(30) = 2.315, p < .05$ ；自由と関連条件間 $t(30) = 5.012, p < .001$ ；非関連と関連条件間 $t(30) = 2.697, p < .05$ ）（Figure 2-7）。反応時間（ $F(2,47) = 13.729, p < .001$ ）では，自由と非関連（ $t(30) = 4.184, p < .01$ ），関連条件間（ $t(30) = 4.824,$

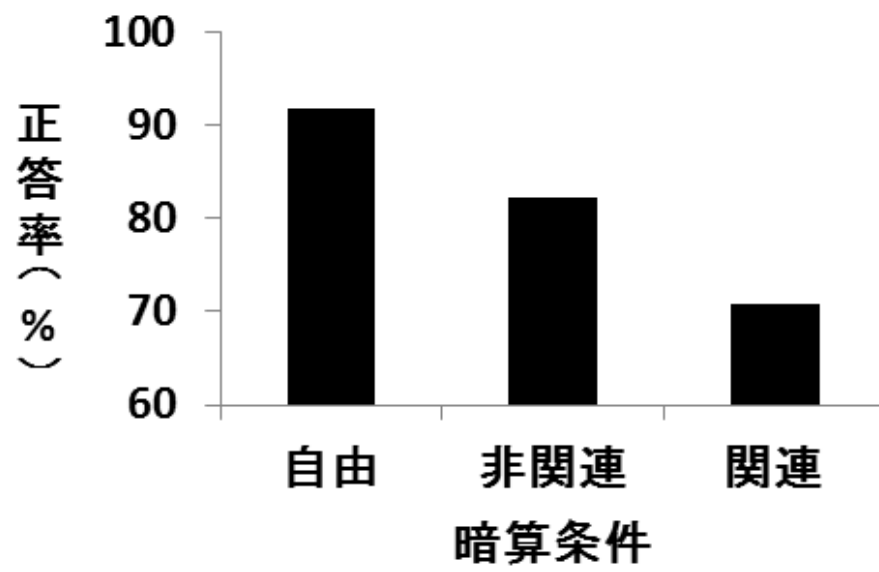


Figure 2-7 各暗算条件における珠算中熟達者の正答率（実験 2）

$p < .01$) に有意差が見られ，非関連と関連条件間には有意差はなかった ($t(30) = .641$, $n.s.$) (Figure 2-8)。

実験 2 では，中熟達者は特殊機能を獲得し，それを使いこなせるようになっており，彼らが行うソロバンイメージ操作は，特殊機能のみに依存して行われるという仮説を，正答率と反応時間に及ぼすタッピングの効果に基づいて検討した。この仮説が妥当ならば，タッピングによる妨害効果は，関連条件において生じると予想される。

正答率に関しては，自由条件に比べて両タッピング条件の方が低く，タッピング条件間で比較すると，非関連条件よりも関連条件の方が低いという結果が得られた (Figure 2-7)。これは，中熟達者のソロバンイメージ操作は，両タッピングにより干渉され，その程度は関連タッピングの方が大きいことを示唆しており，仮説とは異なるものであった。一方，反応時間に関しては，自由条件よりも両タッピング条件の方が遅く，タッピング条件間には差が見られなかった (Figure 2-8)。この結果は，反応時間における両タッピングの干渉効果は同等であることを示唆している。反応時間に関してタッピング条件間に差が見られなかったのは，中熟達者の日常練習が，彼らよりも低位の学習者に比べ，より速さを要求されるからではないかと思われる。本研究の中熟達者は 1 級以上であった。1 級を取得するための検定試験では，3 分間で 14 問に正答すればよい。しかし，それより高位の検定試験では，1 級までの時に比べ，より多い単位時間あたりの正当数が求められる（例えば 3 段では，3 分で 20 問，5 段では 24 問である）。すなわち，高段位を取得するには，これまで同様の正確性に加え，これまで以上の暗算速度が要求されるのである。そのような影響から，速さに重点を置いて課題を遂行した結果，反応時間では両タッピング条件間に差は見られず，正答率のみタッピング条件間に差が見られたのかもしれない。

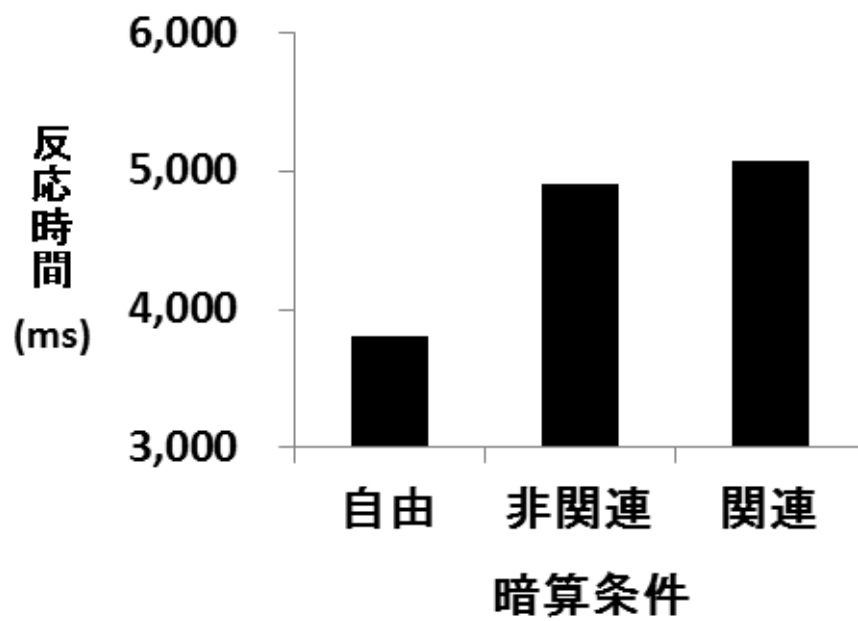


Figure 2-8 各暗算条件における珠算中熟達者の反応時間（実験 2）

以上の結果を総合すると、少なくとも本実験における中熟達者は、ソロバンイメージ操作は一般、特殊両機能に依存して行われているが、その依存度は特殊機能の方が相対的に高いと考えられる。彼らは熟達の過程において特殊機能を獲得し、それを使いこなすようになるため、特殊機能に依存するようになる。一方、特定のイメージ操作に習熟していくと、それ以外のイメージ操作能力も向上していくこと(Wright et al., 2008)を踏まえると、熟達に伴い、一般機能もある程度高まっていくと考えられる。そのため、中熟達者は、一般機能にも依存すると推測される。これらのことから、中熟達者のソロバンイメージ操作は両機能に依存するが、特殊機能の方がソロバンイメージ操作に適したものと考えられるため、その依存度は、相対的に特殊機能の方が高くなっていると推察される。

本実験の結果は、実験1における初級者の結果の解釈に示唆を与えるものと思われる。実験1では、初級者のソロバンイメージ操作が両タッピングの影響を同等に受けたことに対する解釈が保留されていたが、実験2の結果を考慮すると、実験1の初級者は、主に一般機能に依存して暗算を行っていたと考えるのが妥当と思われる。実験1の考察で述べたように、初級段階において、すでに両機能を上手く活用できるようになっているのなら、中程度の熟達段階においても両機能に同等に依存すると予想されるが、実験2では、それを示すような結果は得られず、両機能に依存するが、特殊機能への依存度の方が相対的に高いという結果が得られた。これを踏まえると、初級段階では、両機能を上手く活用できていたわけではなく、特殊機能を獲得していないか、あるいは獲得していてもそれを使いこなすことができないため、主に一般機能に依存していたと考える方が妥当と思われる。このように実験1・2の結果を合わせて考えると、熟達

に伴い，ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性に変化が生じていくことが確認されたといえよう。

第 4 節 領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の検討Ⅲ：高熟達者の場合（実験 3）

実験 1，2 から，珠算技能の熟達に伴い，特殊機能が獲得され，それを上手く活用できるようになっていくことが示唆された。高熟達者においては，特殊機能のみならず，一般機能も上手く活用できるようになっていくと考えられる。その結果，ソロバンイメージ操作は両機能に同等に依存して行われるようになり，非関連・関連両タッピングの影響を同程度受けると予想される。本節では，この仮説を検証した。

方法

実験参加者

実験には，7 段以上の高熟達者 16 名（男性 8 名，女性 8 名：平均年齢 11.6 歳：平均珠算経験 72 ヶ月）が参加した。彼らは，前述の実験参加者候補のうち，同意を得られた珠算学習者であった。

課題，装置および手続き

1 桁の乱数を 4 つ生成し，それらを組み合わせて全ての位が異なる 4 桁の数，7 個からなる暗算課題を 60 問作成した。実験 3 では，実験参加への同意を十分な数の参加者から得られなかったため，各条件用に課題群を作成し，それらの難易度が同等であることを確認するための予備実験を行うことができなかった。そのため，各条件の課題の難易度に偏りが出ないように，作成した課題から 20 問ずつ参加者ごとにランダムに各条件に割り当て，参加者に割り当てる全ての課題セットが異なるものになるようにした⁴。実験装置，タッピング装置，手続

きは全て実験 1 と同様であった。

結果と考察

タッピングベース時における各タッピングの平均回数および標準偏差は，非関連タッピングが 2.3 回 (0.7)，関連タッピングが 2.2 回 (0.6) であった。これに関して分析を行ったところ，条件間で有意差は見られなかった ($t(15)=.652$, *n.s.*)。したがって，実験 3 においても，暗算に対するタッピングの干渉効果の解釈に際しては，特別な配慮を行う必要はないと考えられる。

正答率と正答時の反応時間に関して，暗算条件（自由 vs. 非関連 vs. 関連）を要因とする 1 要因参加者内分散分析を行ったところ，両者とも有意差が見られた。正答率 ($F(2,47) = 4.706$, $p < .05$) に関して，ライアン法による多重比較を行った結果，自由と非関連条件間 ($t(30)=2.315$, $p < .01$)，関連条件間 ($t(30)=2.433$, $p < .05$) に有意差が見られ，非関連と関連条件間 ($t(30)=.402$, *n.s.*) には有意差は見られなかった (Figure 2-9)。反応時間 ($F(2,47)=11.714$, $p < .001$) に関して同様の多重比較を行った結果，自由と非関連条件間 ($t(30)=3.369$, $p < .001$)，関連条件間 ($t(30)=4.694$, $p < .001$) に有意差が見られ，非関連と関連条件間 ($t(30)=1.325$, *n.s.*) には有意差は検出されなかった (Figure 2-10)。

実験 3 では，高熟達者は特殊機能のみならず，一般機能も上手く活用できるようになり，その結果，彼らのソロバンイメージ操作は，一般，特殊両機能を使って行われるため，非関連・関連両タッピングの影響を同等に受けるという予測を検証した。実験の結果，正答率，反応時間ともに，自由条件に比して，両タッピング条件では成績が低下し，タッピング条件間には差がないという結果であり，予測を支持するものであった (Figure 2-9, 2-10)。このパフォーマンス・パターンは実験 1 の初級者と同じであり (Figure 2-5, 2-6)，高熟達者のソ

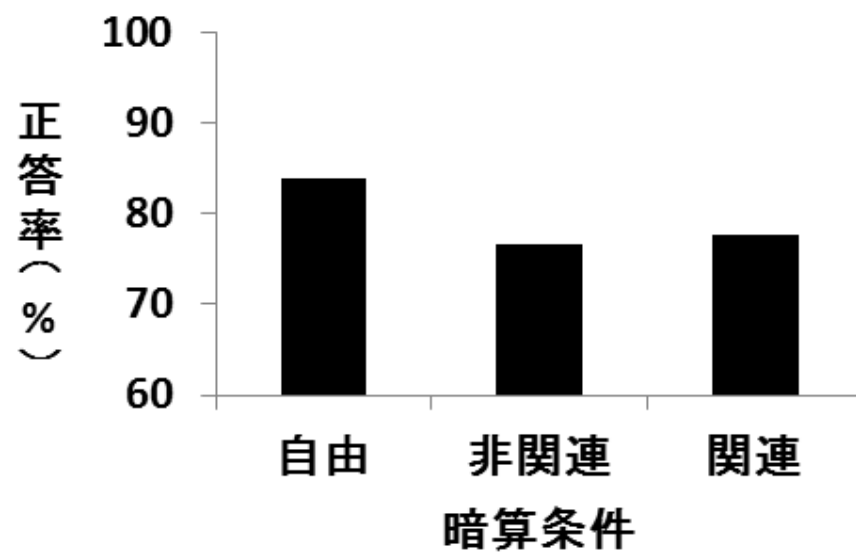


Figure2-9 各暗算条件における珠算高熟達者の正答率（実験 3）

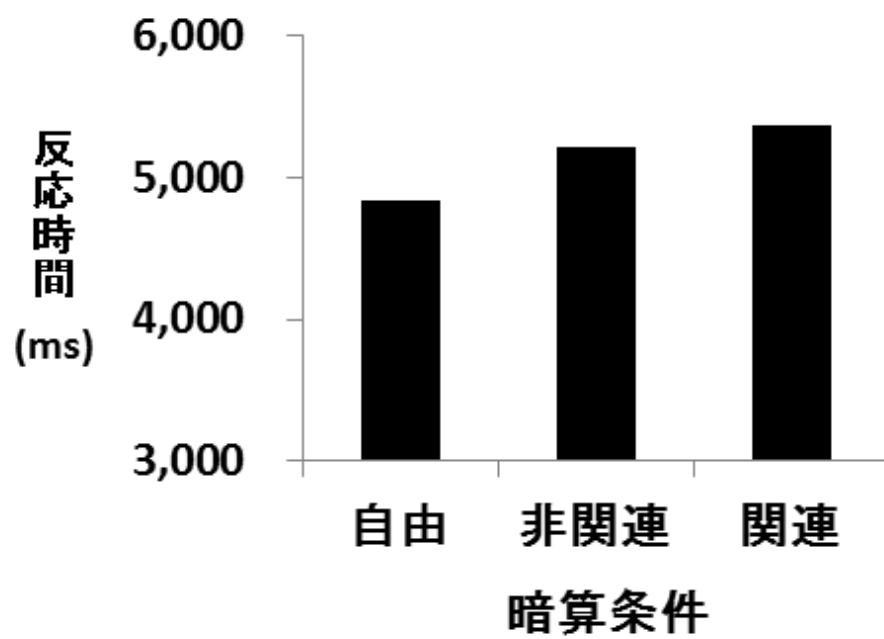


Figure 2-10 各暗算条件における珠算高熟達者の反応時間（実験 3）

ソロバンイメージ操作も一般機能にのみ依存していると解釈することも可能である。ただし、実験 2 の中熟達者において、特殊機能の関与が見られたこと、特定のイメージ操作に熟達していくと、他のイメージ操作も上手くなっていくこと（Wright et al., 2008）を考慮すると、高熟達者は特殊機能に依存し、また、一般機能も上手く活用できるようになるため、両機能に同等に依存するようになり、それゆえ、非関連・関連両タッピングの影響を同様に受けたと考える方が自然であろう。

第 5 節 第 2 章の総括

本章では、珠算技能の熟達に伴うソロバンイメージ操作と運動システムの関係性の変化を、珠算学習者を対象に検討した。具体的には、初級者においては、主に一般機能に依存してソロバンイメージ操作が行われ、中程度の熟達段階では、特殊機能を獲得し、それをある程度上手く活用できるようになっていくため、特殊機能に依存するようになり、高度な熟達段階では、一般、特殊両機能を上手く活用できるようになっていくため、両機能に同等に依存してソロバンイメージ操作は行われるという仮説を立て、それを検証するために 3 つの実験を行った。実験 1 では初級者、実験 2 では中熟達者、実験 3 では高熟達者に、何の制限もなく自由に暗算を行う自由条件、ソロバン指運動では見られない、人差し指と薬指を交互に動かして一定の小領域を叩くようなタッピングをしつつ暗算を行う非関連条件、ソロバン指運動と同等のタッピングをしつつ暗算を行う関連条件の 3 条件を課し、条件間での正答率、反応時間を比較した。

実験 1 では、正答率、反応時間ともに、両タッピング条件間には差がなく、また自由条件よりも両タッピング条件のパフォーマンスの方が低かった（Figure 2-5, 2-6）。これらの結果は、初級者においては、特殊機能は獲得さ

れていないか，獲得されてはいてもまだそれを上手く活用できないため，一般機能に依存してソロバンイメージ操作は行われていることを示唆している。

実験 2 の中熟達者では，正答率に関しては，全条件間に有意差が見られた（Figure 2-7）。このことは，中熟達者のソロバンイメージ操作は，両機能に依存して行われているが，特殊機能への依存度の方が高まっていることを示唆している。反応時間に関しては，両タッピング条件間には差がなく，自由条件よりも両タッピング条件の方が遅いという結果が得られた（Figure 2-8）。反応時間に関してタッピング条件間で差が見られなかったのは，実験 2 で考察したように，中熟達者は高段位を取得するために，低位の初級者に比べ，速く暗算課題を行うことをより強く要求されており，実験状況においてもそれに従ったためであろうと推察された。これら正答率，反応時間の結果を総合すると，実験 2 の結果からは，仮説とは幾分異なり，中熟達者においては，ソロバンイメージ操作は両機能に依存して行われ，その依存度は特殊機能の方が相対的に高いことが示唆される。

実験 3 の高熟達者では，正答率に関しては，自由条件よりも両タッピング条件で低く，タッピング条件間には差がないという結果であり，反応時間に関しても同様の結果であった（Figure 2-9, 2-10）。これらの結果は，彼らのソロバンイメージ操作は，一般，特殊両機能に同等に依存して行われていることを示唆している。

以上のように，実験 2 において，仮説とは若干異なる結果が得られたものの，全体として実験 1～3 の結果は，珠算技能の熟達に伴い，特殊機能が獲得され，その機能を上手く活用できるようになり，それと同時に，一般機能も上手く活用されるようになるという仮説を支持するものであったといえよう。また主に実験 2 の結果から，本研究で採用された非関連・関連タッピングは，それぞ

れ一般，特殊機能を選択的に干渉するタッピングであると考えられる。したがって，実験 4 以降でも，一般機能，特殊機能への選択的干渉のための二次課題として，これらのタッピング課題を用いることにする。

以上，実験 1～3 の結果は，技能熟達に伴う領域特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性に変化が生じることを示していた。これまで述べてきたことと幾分重複する部分もあるが，この変化の内実はどのようなものなのか，以下，若干の考察とまとめを行い，次章の実験へ繋げることにしたい。

初級者においては，熟達の程度が低いため，ソロバン指運動に特殊化された機能は運動システム内に獲得されていないか，あるいは獲得していてもまだ上手く活用できないと考えられる。そのため，彼らのソロバン指運動には一般機能が使われていると思われる。こうした理由から，初級者のソロバンイメージ操作は，主に一般機能に依存して行われると考えられる。

熟達が進み，中程度の熟達段階になると，運動システム内に特殊機能が獲得され，その機能を上手く活用できるようになっていく。そのため，初級段階よりも，ソロバン指運動に対する効率的な処理が可能になり，その運動に習熟していくと予想される。また，特定の技能に習熟すると，その能力が他のことにも転移することはよく知られており（Kimball & Holyoak, 2000），ソロバン指運動に習熟していく過程において，領域非特殊的な，一般的な指の運動の処理もある程度上手く行えるようになっていくと期待される。そのような運動は一般機能に支えられていることを考慮すると，中熟達者においては，一般機能もある程度上手く活用できるようになっていくと考えられる。こうしたことから，中熟達者のソロバンイメージ操作は，両機能に依存するが，特殊機能の方が暗算に適しているため，相対的には特殊機能への依存度

の方が高くなっていると推察される。

Kimball & Holyoak (2000) が指摘するように，転移の程度は，熟達度に影響を受けることを踏まえると，高度な熟達段階では，中熟達者に比べ，領域特殊的な運動のみならず領域非特殊的な指の運動も，より上手に行えるようになっていいると考えられる。各運動の処理が，運動システム内の特殊機能，一般機能に支えられていることを考慮するなら，高熟達者は特殊機能同様に，一般機能もより上手に活用できるようになっていいると予想される。すなわち，高熟達者はイメージ操作に関わる運動システム内の運動機能を全般的に上手に活用できるようになっていいるということである。このような理由から，高熟達者のソロバンイメージ操作は，両機能に同等に依存して行われると考えられる。

以上のように，実験 1～3 の結果は，珠算技能の熟達に伴い，ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性がダイナミックに変化していくことを示唆するものであった。上述のように，熟達の程度が高いほど，イメージ操作に関わる運動システム内の運動機能を全般的に上手に活用できるようになっていいるのであれば，領域非特殊的なイメージ操作能力も向上していいると予想される。このような問題を検討することは，熟達に伴う両者の関係性の変化をより精確に捉えることを可能にすると考えられる。そこで次章では，珠算学習者が行う領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化を検証していくこととする。

第3章 技能熟達に伴う領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化に関する検討

前章において、珠算学習者におけるソロバンイメージ操作と運動システムの関係性を検討した。その結果、初級者は主に運動システムの一般的な機能に依存して暗算を行うこと、中熟達者では、暗算は一般的な機能のみならず、ソロバン指運動を効果的に行うために獲得された特殊機能にも依存し、相対的には後者への依存度の方が高いこと、高熟達者は、両機能に同等に依存して暗算を行うことが示された。これらの結果は、領域特殊的なイメージ操作に関しては、熟達に伴い、一般機能と特殊機能の両方を上手く活用できるようになっていくことを示唆するものであった。本章では、珠算学習者が行う領域「非」特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性を検証していく。

珠算技能に特定のではない、ソロバン以外のいわゆる領域非特殊的なイメージ操作は、基本的に一般機能に依存して行われると予想される。ただし、学習課題と類似したものほど能力の転移が生じやすいという事実もある（Kimball & Holyoak, 2000）。これは能力を支えている機能が、学習課題と類似したものにも使用されることを示唆する。したがって、ソロバンイメージ操作と類似したイメージ操作に関しては、特殊機能にも依存して行われると予想される。

第1章で述べたように、イメージ操作を「対象」と「操作」という2つの側面から考えると、イメージ操作の類似度とは、「対象」や「操作」の類似度を指すといえよう。先行知見（大木, 2001; Stigler, 1984）に基づくと、ソロバンイメージ操作における「対象」は、複数の

円で構成された数を表す空間パターンのイメージ，「操作」は，直線的な上下の操作である。したがって，類似した「対象」には，複数の円で構成されたソロバンでは見られないパターン（以下，円パターンと略記），類似していない「対象」には，ソロバンイメージでは使用されない複数の図形で構成されたパターン（以下，複合パターンと略記）が考えられる。「操作」については，直線的な左右への操作，回転操作が，それぞれ類似したもの，類似していないものとして考えられる。以上のことから本研究では，「対象」や「操作」が類似したものとして，上下・左右に円パターン・イメージを操作する課題，および円パターンの心的回転課題を，「対象」・「操作」とともに類似していないものとして，複合パターンの心的回転課題を採用した。

先述の予想に基づくと，「対象」や「操作」に類似したものを含む，円パターン・イメージの上下・左右操作および円パターンの心的回転には，一般と特殊の両機能が関与し，「対象」・「操作」とともに類似したものを含まない複合パターンの心的回転には，一般機能のみが関与すると考えられる。このような予測は，上記の課題と同時に，前章にて一般機能，特殊機能をそれぞれ選択的に干渉することが確認された非関連・関連タッピングを課すことで検証可能になると思われる。

また前述したように，熟達に伴い，一般，特殊両機能を駆使できるようになるのであれば，熟達度が高いほど領域非特殊的なイメージ操作能力も向上していると予想される。先行研究でも，この予測を一見支持する結果が示されている（Hatta & Hirose, 1991; Hatta & Miyazaki, 1989）。しかし，既に第1章で指摘したように，それらの結果は，イメージ操作以外の能力の向上により得られた可能性も十分に考えられるため，予測が実証されたとは言い難い。そのため，まずはソロバンイメージ操作能

力の向上によって、ソロバン以外のイメージ操作を上手く行えるようになっていくことを示す必要があると思われる。実験 4 では、このことを確認するために、暗算能力別に分けた珠算学習者に、タッピングを行わない状態で、円パターンのイメージを上下・左右に操作する課題を行わせた。続いて、実験 5 では、その課題と同時に、非関連・関連タッピングを課し、実験 6 では、円・複合パターンの心的回転と同時に両タッピングを課すことで、「対象」や「操作」にソロバンイメージ操作と類似したものを含むイメージ操作、および両者ともに類似していないイメージ操作に、一般機能や特殊機能がどのように関与しているのかを検証した。

第 1 節 珠算技能の熟達に伴うイメージ操作能力の転移に関する検討（実験 4）

実験 4 では、珠算技能の熟達に伴い、ソロバン以外のイメージ操作能力も向上していくのかを検討するため、暗算能力別に分けた珠算学習者に、円パターンを記銘させ、それを心的に上下・左右に操作した後のパターンと、後続する円パターンとの異同判断を行わせた（以下、操作・判断ブロックと略記）。このような課題を行わせた場合、熟達度が高いほど正答率が高かったとしても、それはイメージ操作能力の向上によるものではなく、イメージの記銘や保持能力等の違いによってもたらされる可能性も考えられる。そのため、本実験では、操作以外の能力を確認するための試行からなる、記銘・判断ブロックも行うこととした。このブロックでは、円パターンの記銘を行い、それを保持し、続いて呈示される円パターンとの異同判断を行わせる。もし、この課題では熟達度による正答率の差がなく、操作・判断ブロックにおいてのみ差が見られたら、それはイメージ操作能力の差によっ

て生じたといえよう。なぜなら，その差は操作という要因が加わることで生じたものであり，それゆえ，イメージ操作能力の差によってもたらされたと考えられるからである。また，熟達度による操作能力の違いは，正答率のみならず，操作時間において検出される可能性も考えられたため，操作・判断ブロックでは，記銘，操作，判断ごとに時間の計測を行うこととした。

以上に述べた，正答率や操作時間における熟達度の差は，課題の難易度が高い場合に検出される可能性が考えられるため，本実験では円パターンを操作する回数も要因に含め，1回から3回までの操作回数を設定した。またイメージ操作能力の差は，運動システムの自由な使用が制限された，手指を固定した状態において検出されやすいことが知られている（菱谷，2003）。そこで本研究でも，手指を固定した状態で課題を行わせることとした。

方法

実験参加者

実験には，7級から2級までの初級群12名（男性3名，女性9名，平均年齢10.9歳，平均珠算経験20.5ヶ月），1級から3段までの中熟達群10名（男性2名，女性8名，平均年齢11.0歳，平均珠算経験44.7ヶ月），7段以上の高熟達群10名（男性3名，女性7名，平均年齢11.3歳，平均珠算経験69.0ヶ月），計32名が参加した。参加者は前章第1節で述べた実験参加者候補のうち，同意を得られた珠算学習者であった。

刺激

操作・判断ブロック・記銘・判断ブロックで参加者が記銘する刺激として， 3×3 のマトリックスの中に4つの黒い円が配置されている円パターンを上下・左右操作課題用に4つずつ作成した（Figure 3-1）。刺激を作成する際は，各行，あるいは各列に少なくとも1つの円を配

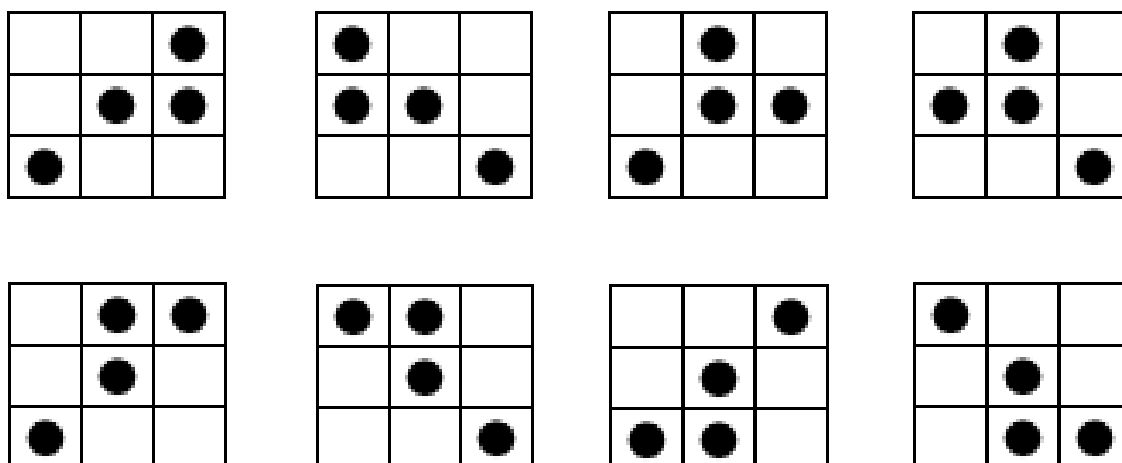


Figure 3-1 実験 4 で使用した円パターン
上段が上下操作課題用，下段が左右操作課題用。

置する，また 4 つの円の配置が，ソロバンで見られる数の配置パターンとは異なるものにするという制約を設けた。操作・判断ブロック・記銘・判断ブロックで，同じ刺激が使用された。

記銘した円パターンの，どの円を操作するのかを指定するための刺激も作成された。これは空白の 3×3 のマトリックスの外側に，1 つから 3 つの上下・左右方向を指す矢印が配置されたものであった（Figure 3-2）。矢印の数は，操作回数を表すものである。上下課題用には上下方向のみ，左右課題用には左右方向の矢印のみが使用され，各行，あるいは各列に，最大で 1 つの矢印が配置された。マトリックスの外枠の上には上向きの矢印，下には下向きの矢印が配置され，右には右向きの，左には左向きの矢印が配置された。実験では，実験参加者が記銘した円パターンのうち，矢印が呈示された行，あるいは列にある円を，矢印の方向に向かって 1 マス分移動させるという心的操作を行わせる。操作が必要な列や行に円が 2 つ配置されている場合は，それらを矢印の方向に向かって 1 マス分ずつ移動させる。そのため，円を移動させた場合に，それがマトリックスの外に出ないように配慮して，矢印は配置されていた。1 つの刺激に対して各操作回数で 2 通り，計 6 通りの操作が設定された。操作回数 1 では，上（右）に操作する場合と下（左）に操作する場合を設け，操作回数 2 と 3 では，上（右）への操作のみ，あるいは下（左）への操作のみにならないように，必ず上下（左右）それぞれを含む操作になるように矢印の配置が設定された。

また各操作に，操作後のパターンと一致する場合と，不一致の場合を設けた。不一致の刺激は，正しいパターンとは 1 つだけ円の配置が異なるものであった。さらに，記銘・判断ブロック時のマスク刺激として，白黒比率が 50% のランダムドットパターン（ 100×100 ピクセル）

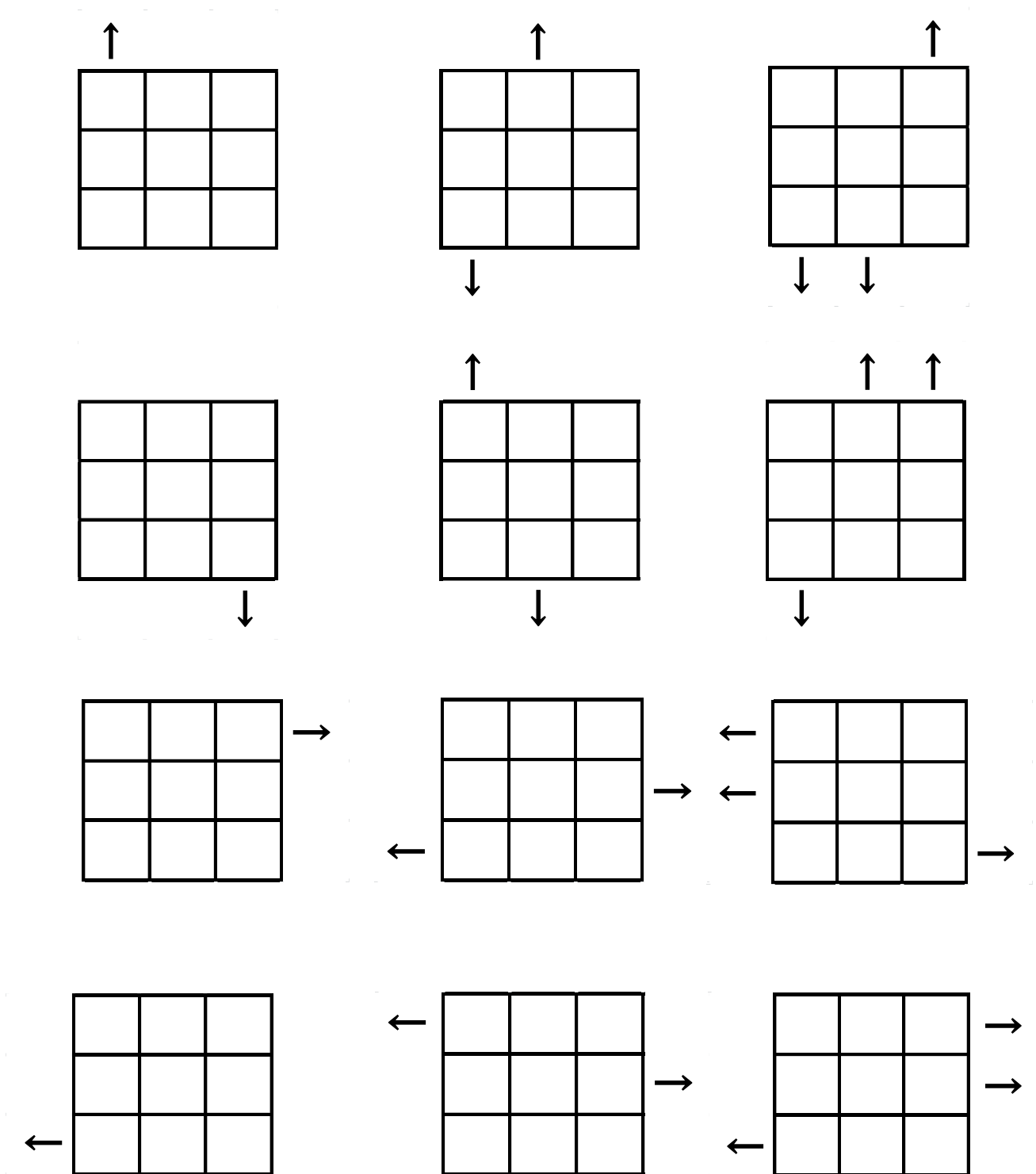


Figure 3-2 操作を指定する刺激例

上から 2 段目までが上下操作作用，3 段目以降が左右操作作用。

が 1 つ使用された。この刺激は、縦・横 100×100 のセルに、1 と 0 が 50% の確率で生じるような乱数を設定し、0 の部分を黒く、1 の部分を白くすることで作成された。全ての刺激は、Excel 2008 (Microsoft 社製) を用いて作成された。

実験装置

刺激呈示、反応時間の記録には、iBook(Apple 社製)、自作の反応ボックスを用い、実験制御には Psyscope X B51 (Cohen et al., 1993) を使用した。

反応ボックス

市販のプラスチックケース(TAKACHI 社製 SW-100S)に、3 つのスイッチ(サトーパーツ社製 SW-95)を取り付けたものが使用された(Figure 3-3)。実験参加者は、Figure 3-3 に示されている反応ボックスを両手で持ち、円パターンの記銘が完了したら中央下部のスイッチを右手の親指で、異同判断を行う際は、右上・左上に配置されたスイッチをそれぞれ右手(同じ場合)・左手(異なる場合)の人差し指で押すように求められた。

手続き

操作・判断ブロック

実験は実験参加者が通う珠算塾で、参加者毎に個別に実施された。実験用のパソコンが置かれた机の前に参加者が座り、実験者から実験概要の説明を受けた後、実験が開始された。

1 試行の流れは、Figure 3-4 に示されているとおりである。各試行では、始めに「準備して下さい」という文が呈示され、実験者のキー操作で画面が注視点に切り替わった。1500ms 後、ブランク画面に切り替わり、1000ms 後に円パターンが呈示され、実験参加者はできるだけ速く正確に円パターンを記憶し、反応ボックスのスイッチを押すように求められた。円パターンの呈示と同時に記銘時間のカウントが開始され、スイッチを押すと記銘時

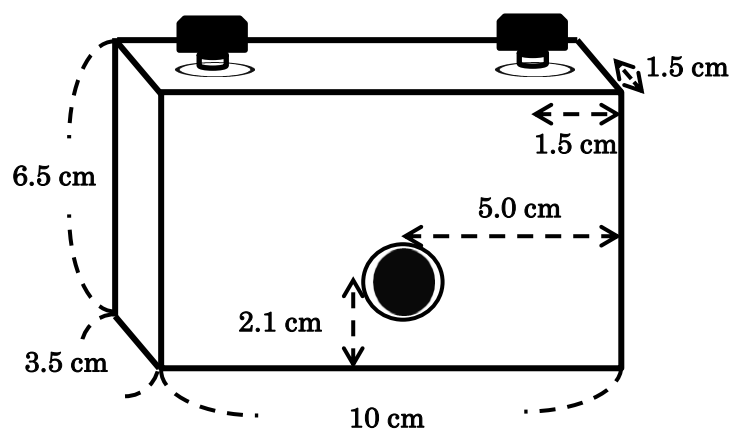


Figure 3-3 実験 4 で使用された反応ボックスの外観

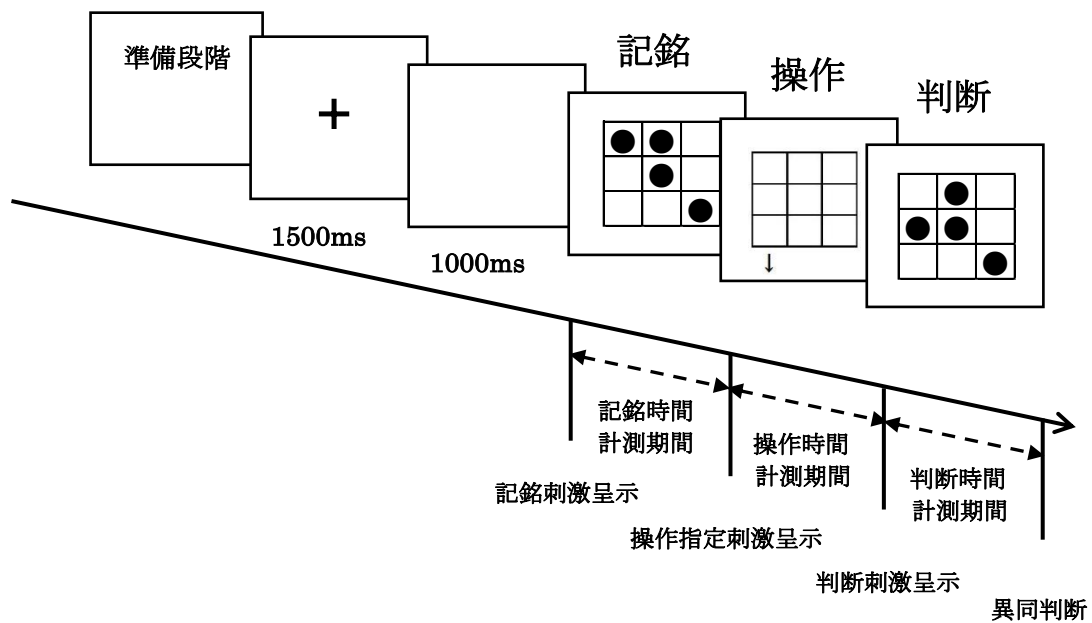


Figure 3-4 実験 4 における操作-判断ブロックの流れ

準備段階では、実験者のキー操作、また記銘、操作、判断フェーズでは、実験参加者のキー操作により次の画面に進んだ。

間の計測が終了した。スイッチを押すとともに画面が切り替わり、空白のマトリックスの枠の外に上下、あるいは左右方向に向いた矢印が1つから3つ呈示された。矢印は、参加者が記銘した円パターンのうち、それが呈示された行、あるいは列にある円を矢印の方向に1マス分移動させるという合図である。実験参加者は保持していた円パターンをできるだけ速く正確に矢印に従って心的に操作し、その操作結果を記憶したらスイッチを押すように求められた。空白のマトリックス呈示と同時に操作時間のカウントが開始され、スイッチを押すと操作時間の計測が終了した。スイッチを押すとともに画面が切り替わり、円パターンが呈示された。実験参加者は、それと操作後の円パターンに関する異同判断をできるだけ速く正確にスイッチ押しにより行うように求められた。円パターンの呈示と同時に判断時間のカウントが開始され、スイッチを押すと判断時間の計測が終了した。

以上が1試行の流れである。刺激はランダムに呈示された。各操作課題の順序は参加者間でカウンターバランスされ、参加者の半数は上下操作、左右操作、上下操作、左右操作という順序で、残りの参加者はその逆に、左右操作、上下操作、左右操作、上下操作の順序で、計4ブロック行われた。

記銘-判断ブロック

円パターンの記銘までは、操作-判断ブロックと同じであった（Figure 3-5）。その後、ランダムドットパターンが呈示され、実験参加者はそれを見続けるように教示された。3秒後、画面が切り替わり、円パターンが呈示された。実験参加者は、それと保持している円パターンに関する異同判断をできるだけ速く正確に、スイッチ押しにより行うように求められた。円パターンの呈示と同時に判断時間のカウントが開始され、ボタンを押すと判断時間の計測が終了した。

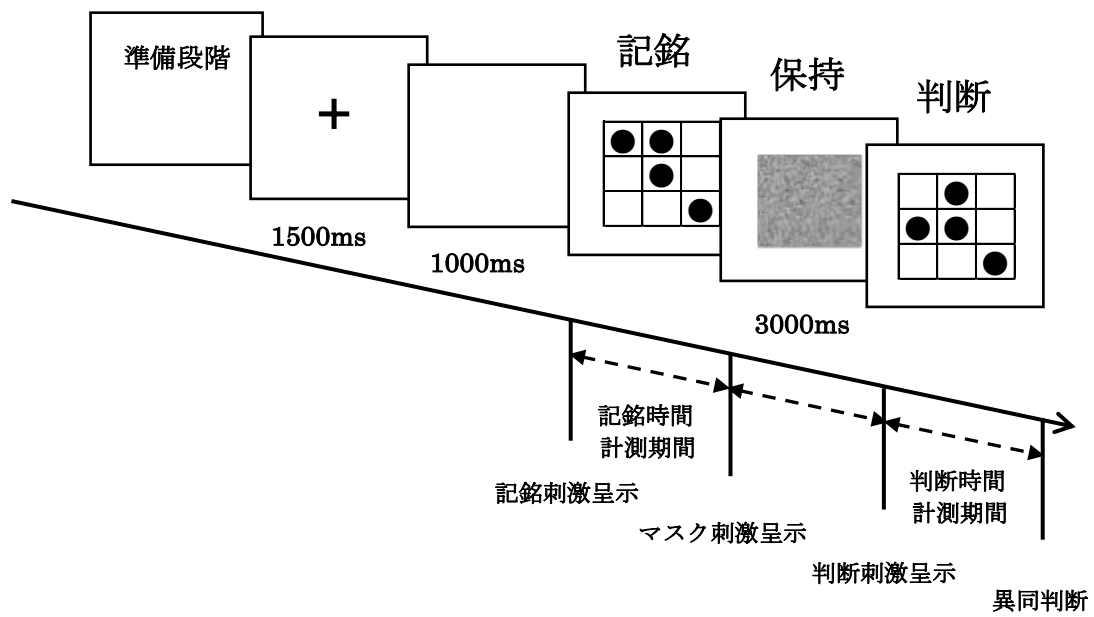


Figure 3-5 実験 4 における記銘-判断ブロックの流れ

準備段階では、実験者のキー操作、また記銘、判断フェーズでは、実験参加者のキー操作により次の画面に進んだ。

以上が 1 試行の流れである。刺激はランダムに呈示された。操作・判断ブロックを上下操作課題から行う参加者は，記銘・判断ブロックも上下操作課題に用いた刺激の記銘から，操作・判断ブロックを左右操作課題から行う参加者は，記銘・判断ブロックも左右操作課題に用いた刺激の記銘から行った。

実験は練習試行（6 試行），記銘・判断ブロック 1（8 試行），操作・判断ブロック 1（24 試行），記銘・判断ブロック 2（8 試行），操作・判断ブロック 2（24 試行），記銘・判断ブロック 3（8 試行），操作・判断ブロック 3（24 試行），記銘・判断ブロック 4（8 試行），操作・判断ブロック 4（24 試行）という順序で行われ，参加者の負担を考慮して各操作・判断ブロック後に若干の休憩を設けた。練習試行は各操作回数が 2 試行ずつであった。操作・判断ブロックは，上下・左右操作課題とも 1 ブロック 24 試行（各操作回数 8 試行，一致・不一致 4 試行ずつ），それぞれ 2 ブロック 48 試行で，全 4 ブロック 96 試行であった。記銘・判断ブロックは，上下・左右操作課題とも 1 ブロック 8 試行（各刺激 2 試行，一致・不一致 1 試行ずつ），それぞれ 2 ブロック 16 試行で，全 4 ブロック 32 試行であった。

結果

記銘・判断ブロックの分析

まず，記銘・判断ブロックに関して分析を行った。記銘時間，判断時間，記銘正答率⁵に関して群（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達；被験者間）と刺激（上下用 vs. 左右用；被験者内）を要因とする 2 要因混合分散分析を行った結果，主効果，交互作用は全て有意とはならなかった（all F s < 3.3, p s > .05）（Table 3-1）。

操作・判断ブロックの分析 1：記銘時間

Table 3-1 記銘-判断ブロックにおける，平均記銘時間，平均判断時間，平均記銘正答率（括弧内は標準偏差）（実験 4）

	記銘時間 (ms)		判断時間 (ms)		記銘正答率 (%)	
	上下	左右	上下	左右	上下	左右
初級	1720 (590)	1791 (482)	1194 (225)	1278 (170)	99.5 (1.7)	98.4 (3.7)
中熟達	1410 (458)	1279 (496)	1217 (195)	1152 (209)	98.1 (2.9)	99.4 (1.9)
高熟達	1363 (512)	1186 (448)	1080 (274)	1081 (352)	98.8 (2.5)	99.4 (1.9)

操作-判断ブロックの分析では，記銘時間に関して群（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達；被験者間）と刺激（上下用 vs. 左右用；被験者内）を要因とする 2 要因混合分散分析を行った。分析の結果，群の主効果が有意（ $F(2,29)=5.521, p < .01$ ）で，ライアン法による多重比較を行った結果，高熟達群と初級群間に有意差が見られ（ $t(29)=3.3449, p < .01$ ），高熟達群と中熟達群（ $t(29)=1.270, n.s.$ ），中熟達群と初級群（ $t(29)=2.203, n.s.$ ）間には有意差はなかった（Figure 3-6）。操作方向の主効果（ $F(1,29)=1.067, n.s.$ ），群と操作方向の交互作用（ $F(2,29)=3.314, n.s.$ ）は有意ではなかった（Table 3-2）。

操作-判断ブロックの分析 2：操作正答率

操作正答率に関して群（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達；被験者間）と操作方向（上下 vs. 左右；被験者内）と操作回数（1 vs. 2 vs. 3；被験者内）を要因とする 3 要因混合分散分析を行った。その結果，群と操作回数の交互作用が有意（ $F(4,58)=4.985, p < .01$ ）となり，単純主効果検定の結果，操作回数 3 における群（ $F(2,87)=8.195, p < .001$ ）の効果が有意であった（Figure 3-7）。これに関してライアン法を用いた多重比較を行った結果，高熟達群と初級群間（ $t(87)=4.103, p < .001$ ）に有意差が見られ，高熟達と中熟達群（ $t(87)=2.156, n.s.$ ），中熟達群と初級群の間には有意差は見られなかった（ $t(87)=1.851, n.s.$ ）。操作回数 1（ $F(2,87)=0.255, n.s.$ ）と 2（ $F(2,87)=1.526, n.s.$ ）では，有意な群の単純効果は検出されなかった。操作回数の主効果も有意（ $F(2,58)=37.755, p < .001$ ）で，全ての水準間に有意差が見られた：操作回数 1 と 2（ $t(58)=3.227, p < .005$ ），操作回数 1 と 3（ $t(58)=8.631, p < .001$ ），操作回数 2 と 3（ $t(58)=5.404, p < .001$ ）（Figure 3-8）。群と操作回数以外の交互作用，群，操作方向の主効果は全て有

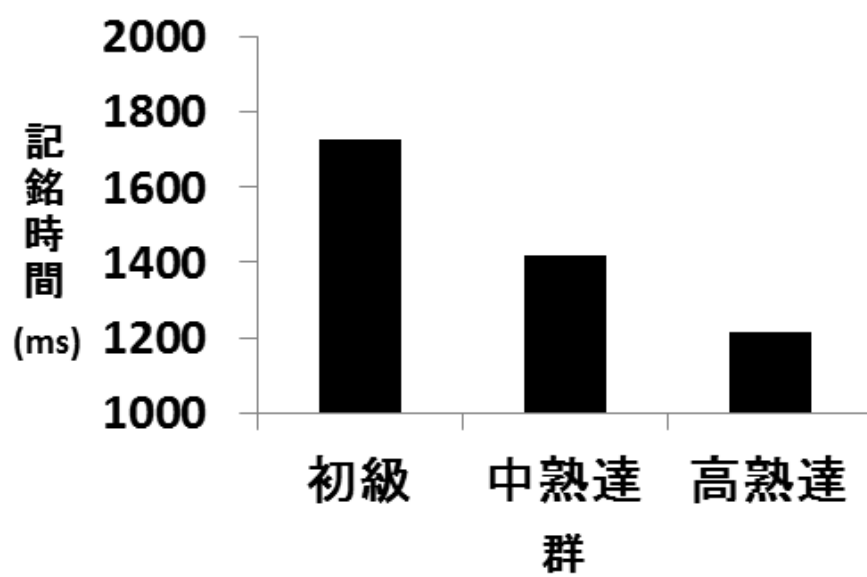


Figure 3-6 操作-判断ブロックにおける各群の記録時間（実験 4）

Table 3-2 操作-判断ブロックにおける平均記銘時間，平均判断時間（括弧内は標準偏差）
（実験 4）

	記銘時間 (ms)		上下判断時間 (ms)			左右判断時間 (ms)		
	上下	左右	1	2	3	1	2	3
初級	1632 (379)	1824 (356)	1288 (267)	1438 (287)	1573 (396)	1367 (475)	1606 (455)	1652 (499)
中熟達	1454 (362)	1383 (367)	1148 (243)	1351 (268)	1367 (348)	1075 (225)	1268 (350)	1218 (346)
高熟達	1210 (351)	1222 (332)	1162 (273)	1192 (247)	1212 (232)	1060 (253)	1117 (289)	1105 (287)

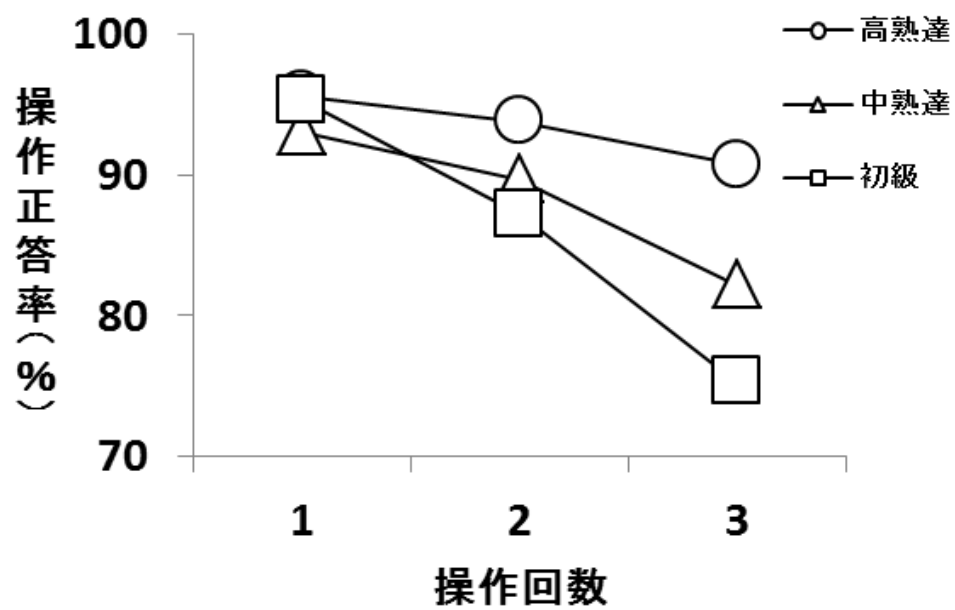


Figure 3-7 操作・判断ブロックにおける各群の操作回数の関数としての操作正答率（実験 4）

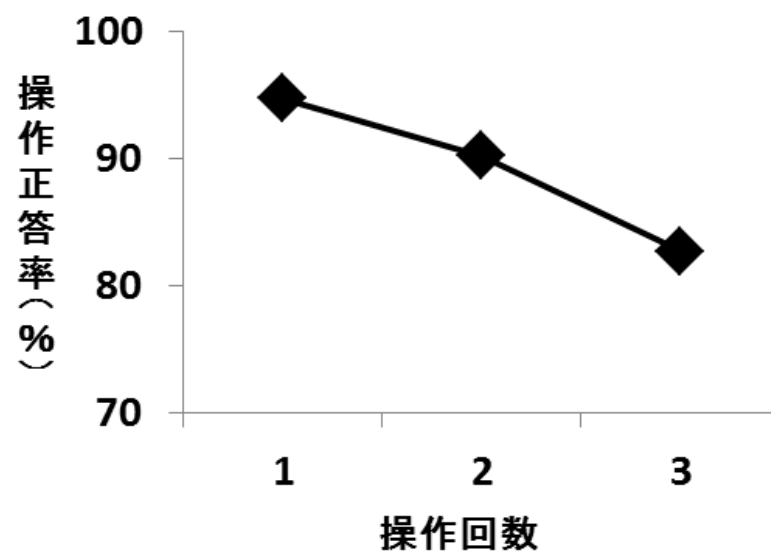


Figure 3-8 操作 - 判断ブロックにおける操作回数の関数としての操作正答率 (実験 4)

意ではなかった ($\text{all } Fs < 3.1, ps > .05$) (Table 3-3)。

操作-判断ブロックの分析 3：操作時間

操作時間に関しても，操作正答率と同様の 3 要因混合分散分析を行った結果，操作回数の主効果が有意であった ($F(2,58)=114.596, p < .001$)。ライアン法を用いた多重比較の結果，全ての水準間に有意差が見られた：操作回数 1 と 2 ($t(58) = 8.871, p < .001$)，操作回数 1 と 3 ($t(58) = 15.119, p < .001$)，操作回数 2 と 3 ($t(58) = 6.249, p < .001$) (Figure 3-9)。その他の主効果，交互作用は全て有意ではなかった ($\text{all } Fs < 1.5, ps > .05$) (Table 3-4)。

操作-判断ブロックの分析 4：判断時間

判断時間に関しても，操作正答率同様の 3 要因混合分散分析を行ったところ，群と操作方向 ($F(2,58)=3.491, p < .05$) の交互作用が有意であった。単純主効果検定の結果，左右操作における群の効果が有意であった ($F(2,58)=5.481, p < .001$)。ライアン法を用いた多重比較の結果，高熟達群と初級群 ($t(58)=3.184, p < .005$)，中熟達群と初級群 ($t(58)=2.524, p < .05$) 間に有意差が見られ，高熟達群と中熟達群間には有意差は見られなかった ($t(58)=.631, n.s.$) (Figure 3-10)。上下操作における条件の効果は有意ではなかった ($F(2,58)=1.478, n.s.$)。群と操作回数の交互作用も有意で ($F(4,58)=3.200, p < .05$)，単純主効果検定の結果，操作回数 2 ($F(2,87)=3.386, p < .05$)，操作回数 3 ($F(2,87)=5.421, p < .01$) における条件の効果が有意であった。操作回数 2 に関する多重比較の結果，高熟達群と初級群 ($t(87)=2.630, p < .05$) 間に有意差が見られ，高熟達群と中熟達群 ($t(87)=1.523, n.s.$)，中熟達群と初級群間 ($t(87)=1.061, n.s.$) には有意差は見られなかつ

Table 3-3 操作-判断ブロックにおける平均操作正答率（括弧内は標準偏差）（実験 4）

	上下操作正答率 (%)			左右操作正答率 (%)		
	1	2	3	1	2	3
初級	93.2 (7.0)	90.0 (8.3)	75.5 (9.7)	97.3 (3.2)	84.4 (11.0)	75.0 (15.5)
中熟達	90.0 (10.9)	90.6 (10.2)	82.5 (16.3)	96.3 (9.4)	88.8 (11.1)	81.9 (11.3)
高熟達	92.5 (6.7)	91.3 (7.5)	88.1 (11.3)	98.8 (2.5)	96.3 (5.0)	93.1 (7.1)

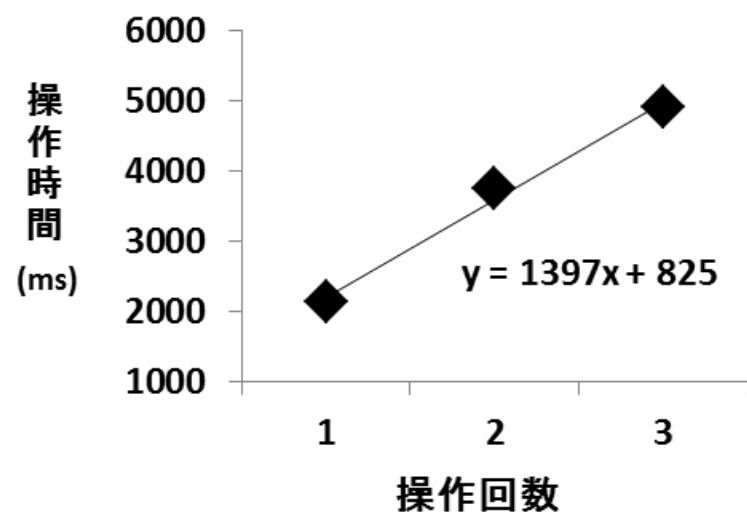


Figure 3-9 操作・判断ブロックにおける操作回数と操作時間の関係（実験 4）

Table 3-4 操作-判断ブロックにおける平均操作時間（括弧内は標準偏差）（実験 4）

	上下操作時間 (ms)			左右操作時間 (ms)		
	1	2	3	1	2	3
初級	2370 (682)	4347 (1493)	5748 (2509)	2283 (826)	3978 (1414)	5270 (2245)
中熟達	2199 (754)	3759 (1410)	5001 (1646)	2200 (814)	3757 (1393)	4768 (1502)
高熟達	1892 (760)	3134 (1236)	4249 (1669)	1834 (543)	3548 (1130)	4352 (1417)

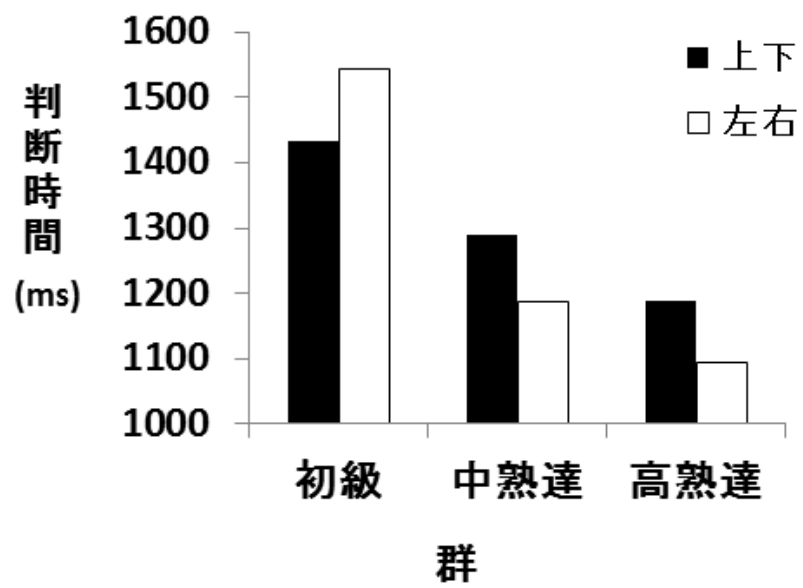


Figure 3-10 操作・判断ブロックにおける各群の各操作方向の判断時間（実験 4）

た。操作回数 3 に関する多重比較の結果，高熟達群と初級群（ $t(87)=3.252, p<.005$ ），中熟達群と初級群（ $t(87)=2.294, p<.05$ ）間に有意差が見られ，高熟達群と中熟達群間には有意差は見られなかった（ $t(87)=.918, n.s.$ ）（Figure 3-11）。群の主効果（ $F(2,29)=3.478, p<.05$ ），操作回数の主効果も有意（ $F(2,58)=19.461, p<.001$ ）であったが，これらは上述の交互作用により規定される。その他の主効果および交互作用は全て有意ではなかった（all $Fs < 1, ps > .05$ ）（Table 3-2）。

考察

実験 4 では，ソロバンイメージ操作の熟達に伴い，ソロバン以外のイメージ操作も上手に行えるようになっていくのかを検証した。具体的には，「対象」・「操作」ともに，ソロバンイメージ操作と類似した，円パターンのイメージを上下・左右に操作させる課題を，初級，中熟達，高熟達の 3 群の珠算学習者に行わせ，群間で課題成績を比較した。

記銘・判断ブロックでは，記銘時間，判断時間，記銘正答率のいずれも，全ての条件間で有意差は見られなかった（Table 3-1）。この結果は，少なくとも本実験で用いられた円パターンの記銘に関しては群間に差がないことを示している。ただし，Table 3-1 で示されているように，本実験の記銘正答率は極めて高いことから，課題が易しく，本来であれば生じるはずであった群間差が生じなかった可能性も考えられる。そのため，本実験の結果からは，珠算経験によって単純な円パターンの記憶能力が向上するのかどうかについては，言及しない方が妥当であろう。また刺激に関して，全ての条件間で差がないという結果から，上下・左右課題用の刺激の難易度には差がないことも併せて示された。

操作・判断ブロックの記銘時間に関しては，記銘・判断

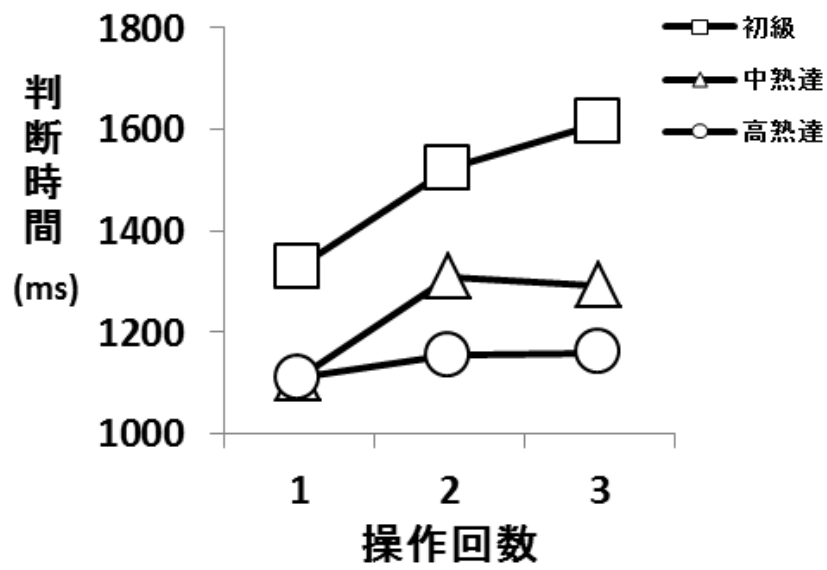


Figure 3-11 操作・判断ブロックにおける各群の操作回数の関数としての判断時間（実験 4）

ブロックの結果とは異なり，群の主効果が有意で，初級群と高熟達群の間に有意差が見られた（Figure 3-6）。操作・判断ブロックでは，円パターンの記銘後に操作を行う。初級群は，他の群に比べると，あまり上手く操作を行えないので，他の群よりも円パターンの記銘に慎重になり，その結果，記銘時間が最も速かった高熟達群との間に差が生じたのかもしれない。ただし，先述の記銘・判断ブロックの結果から，円パターンの記銘の正確性には，群間に差はないと言えよう。

操作・判断ブロックの操作正答率では，群と操作回数の交互作用が有意で（Figure 3-7），操作回数3の時に，初級群と高熟達群の間に有意差が生じていた。この結果は，熟達度が高いほど，操作回数が多い場合でも，上下・左右操作課題の正答率が高いことを示唆している。高熟達者ほど，より桁数や口数が多いという，操作回数の多い暗算を正確に行えるため，その能力が転移し，操作回数の多い円パターンのイメージ操作に関しても正確に行えるようになっていたのかもしれない。操作回数1と2では群間に差がなかったことは，操作回数が少ない場合，熟達度が低くても，円パターンのイメージ操作をある程度正確に行えることを示唆している。熟達度が低い群でも，ある程度の操作回数を要する暗算を日常的に行っているので，操作回数の少ない円パターンのイメージ操作に関しては，操作回数が多い時よりも，相対的に安定して行えるようになっており，それゆえ，操作回数が少ない場合には，群間で差が生じなかったのかもしれない。

以上の操作正答率の結果は，熟達度が高いほど，円パターンのイメージ操作課題の成績が良いことを示している。この結果と，先述の記銘・判断ブロックにおいて，記銘正答率に群間で差がなかったことを考慮すると（Table 3-1），操作・判断ブロックにおける操作正答率の群間差は，イメージ操作能力の差によって生じたとい

えよう。なぜなら，その差は操作が加わることで初めて生じたものであり，各群のイメージ操作能力の違いによってもたらされたと考えられるからである。このように，操作正答率の結果は，熟達に伴い，ソロバン以外のイメージ操作能力も向上していくという仮説を支持するものであった。また，操作回数の増加に伴う操作正答率の低下が示されたことは（Figure 3-8），本実験では課題の難易度設定が適切に行われたことを示しているといえよう。

操作時間の結果では，群間で差が見られなかった（Table 3-4）。これは，円パターンのイメージを操作する速度に関しては，熟達度による差がないことを示している。これについて，操作速度には転移が生じていないと見なすことも可能である。しかし，学習課題と類似したものほど能力の転移が生じやすいこと（Kimball & Holyoak, 2000）を考慮すると，円パターン・イメージの操作速度に関しては，熟達の早い段階で能力の転移が生じており，そのため，熟達度が低い群でも，円パターンのイメージ操作をある程度速く行うことができ，群間差が生じなかったと考える方が妥当と思われる。また操作時間では，操作回数の主効果が有意で，全ての水準間に有意差が見られ，しかも，操作時間は操作回数とともに直線的に増加していた。この結果は，実験参加者が，物理的対象の操作と同様に，円パターンを心的に操作していることを示唆する。このことを確かめるため，操作時間を従属変数，操作回数を独立変数とする回帰式を算出したところ， $Y=1397X+825$ という式が得られ，これはデータに極めて高い適合を示している（Figure 3-9）。これは本実験の参加者が，操作回数を示す矢印に従い，1行あるいは1列ごとに円パターンのイメージ操作を行っていたことを示唆している。また操作時間に関する分析では，群と操作回数の交互作用は有意ではなかった。この結果は，熟達度に関わらず，同等の速度で円パターン

のイメージ操作が行われていたことを示している。

判断時間では，群と操作方向の交互作用が有意で，左右操作に関しては，熟達度が高いほど判断時間が速く，上下操作に関しては，群間で差がないことが示された（Figure 3-10）。先述のように，学習課題と類似したもののほど転移が生じやすい（Kimball & Holyoak, 2000）ため，相対的に類似度が高いと考えられる上下操作に関しては，左右操作に比べると，転移が進んでおり，初級群でもある程度安定して行えるようになっているのかもしれない。そのため，群間差が生じなかった可能性が考えられる。一方，左右操作の場合，初級群はイメージ操作をそれほど安定して行えないため，慎重に時間をかけて判断する必要があるため，群間差が生じたのかもしれない。群と操作回数の交互作用も有意で，操作回数 2 の時は，初級群と高熟達群間に，操作回数 3 の時は，初級群と中熟達・高熟達群間に有意差が見られた（Figure 3-11）。この結果は，操作回数が多くなると，判断時間に群間差が生じることを示している。熟達度が低い場合，操作回数が増えるほど，イメージ操作を安定して行えないため，操作回数が少ない時よりも，慎重に判断を行わなければならないのかもしれない。つまり，操作回数 2 の時は初級群と高熟達群間に，また操作回数 3 の時は，操作回数 2 に比べ，安定したイメージ操作がより困難になるので，初級群と高熟達群間だけでなく，初級群と中熟達群にも差が見られたのではないかと考えられる。

以上の結果を総合すると，本実験では，珠算技能の熟達に伴い，ソロバン以外のイメージ「操作」能力が向上していくという仮説を支持する結果が得られたといえよう。また本実験の操作・判断ブロックにおける記銘時間および判断時間に関して，熟達度が高いほど成績が良いことが示されたことは，一見すると，熟達に伴い，イメージ操作能力のみならず，「記銘」や「判断」の能力も向

上していくことを示しているように思われる。ただし記銘・判断ブロックでは，記銘，判断時間に群間差が生じなかったことから，操作・判断ブロックで見られた記銘，判断時間の群間差は，操作能力の違いによって生じた可能性が考えられる。すなわち，熟達度が低いほど円パターンのイメージ操作を安定して行えないため，操作課題を正確に行うには，初級群ほど記銘や判断に時間を掛ける必要があったのではないかということである。したがって，本実験の結果は，珠算経験によって，円パターンのイメージ操作能力が向上していくことを示すものであったといえよう。

以上のように，実験 4 では，珠算技能の熟達に伴い，少なくとも，「対象」・「操作」ともに類似していると考えられるイメージ操作には，その能力が転移することが示された。それでは，このようなイメージ操作に，運動システムにおける一般，特殊両機能はどのように関与しているのだろうか。前にも述べたように，円パターン・イメージの上下・左右操作は，円で構成されたパターンに対して，直線的な操作を心的に行うというものである。方向の違いはあるものの，直線的ということ，上下と左右を同様のものと見なすのであれば，「対象」・「操作」ともにソロバンイメージ操作と類似していると考えられる。したがって，ソロバンイメージ同様，円パターンのイメージ操作にも，一般機能や特殊機能が関わっている可能性は高いと予想される。また本実験では，円パターン・イメージの操作正答率，操作時間の成績において，上下・左右で違いはなかった。したがって，円パターンのイメージ操作に一般，特殊機能が関わっているとすると，その関わり方は操作方向に無関係なのではないかと思われる。すなわち，円パターン・イメージの上下・左右操作ともに，ソロバンイメージ同様，中熟達群は一般，特殊両機能に依存するが，特殊機能への依存度の方が相

対的に高く，高熟達群は両機能に同等に依存するという
ことである。初級群に関しては，判断時間の結果から，
左右操作に比して，上下操作をより安定して行えること
が示唆されているが，彼らは一般機能のみが活用されて
いると考えられるため，操作方向に関わらず，ソロバン
イメージ操作同様に，一般機能が関与すると予想される。
そこで，次の実験 5 では，珠算学習者に本実験の課題と
同時に非関連・関連タッピングを課し，円パターン・イ
メージの上下・左右操作と運動システムの関係性を検証
することとした。

第 2 節 領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの 関係性 I：領域特殊的なイメージ操作と類似度 が高い場合（実験 5）

本実験では，「対象」・「操作」とともにソロバンイメー
ジ操作と類似していると考えられる，円パターン・イメー
ジの上下・左右操作に，一般，特殊両機能がどのように
関わっているのかを検証する。

前節の実験 4 では，上下・左右で正答率および操作時
間に違いはなかった。このことから円パターンのイメー
ジ操作における一般，特殊機能への依存は，操作方向に関
わらず同じであり，上下・左右操作とも，ソロバンイメー
ジ操作同様に，一般，特殊機能に依存しているのではない
かと解釈してきた。

しかし，本実験のように，この課題が遂行される際に，
一般と特殊の両機能に対して選択的に干渉するタッピン
グ課題を課すことで，実験 4 の課題成績には表れなかつ
た，上下・左右という方向の違いによる，両機能への依
存の違いが検出される可能性も考えられる。なぜならば，
上下と左右という，イメージ操作におけるソロバンとの
相対的な類似度の違いにより，両機能への依存の仕方が

異なるかもしれないからである。すなわち，ソロバンイメージの操作は上下方向だけであり，円パターンの上下操作の方が，左右操作よりも，類似度が相対的に高い可能性も予想されるということである。もしそうだとすると，上下操作に関しては，ソロバンイメージ操作同様に，一般，特殊機能に依存するが，相対的に類似度が低いと考えられる左右操作においては，ソロバンイメージ操作とは一般，特殊機能への依存の仕方が異なるのではないかと予想される。左右操作では，より非特殊性が強いと考えられるため，一般機能への依存が高まり，逆に特殊機能への依存は低下するのではないかと推察される。

これらの予想を検証するため，本実験では課題を，固定，非関連，関連の3条件で行わせた。固定条件は，実験4同様に，手指を固定した状態で課題を行うものであった。非関連，関連条件は，実験1～3において，一般，特殊機能にそれぞれ干渉することが確認されている，非関連・関連タッピングと同時に課題を行うものであった。

上下・左右操作とも，ソロバンイメージ操作の場合と同じように，一般，特殊機能に依存するのであれば，初級群は一般機能に，中熟達群は両機能に依存するが，特殊機能への依存度の方が高く，高熟達群は両機能に同等に依存すると予想される。そうすると，初級，中熟達，高熟達各群のタッピングによる干渉パターンは，それぞれ実験1，2，3と同様，Figure 2-5，2-7，2-9に類似したものになると期待される。

操作方向の違いにより，両機能への依存の仕方が異なるとすると，干渉パターンは，操作方向によって以下のように異なると思われる。先ず上下操作の場合は，基本的には，ソロバンイメージ操作同様，一般，特殊機能に依存する可能性が高いので，各群におけるタッピングの干渉パターンは，やはり，Figure 2-5，2-7，2-9に類似したものになると予想される。一方，相対的に類似度が

低いと考えられる左右操作では，ソロバンイメージ操作とは異なり，一般機能への依存が高く，特殊機能への依存は低下する可能性がある。つまり，中熟達群，高熟達群においては，一般機能にのみ依存するか，あるいは，両機能に依存するが，相対的には一般機能への依存度の方が高いというようなことが考えられる。初級群の場合は，まだ特殊機能が活用されていないので，一般機能のみへの依存になる。もし，このようなことがあるのならば，中熟達群および高熟達群では，非関連タッピングの干渉効果のみが生じるか，あるいは，両タッピングの干渉効果が生じるが，相対的には非関連タッピングの干渉効果の方が大きいと予想される。初級群に関しては，上下操作同様に，左右操作においても，非関連・関連タッピングの影響を同等に受けると予測される。

なお，イメージ操作能力の違いにより，操作課題成績に群間差が生じていることを確認するため，本実験でも，実験 4 同様に，操作以外の能力を確認するための記銘・判断ブロックを行うこととした。

方法

実験参加者

実験には，珠算学習者 48 名が参加した (Table 3-5)。参加者は前章第 1 節で述べた実験参加者候補のうち，同意を得られた珠算学習者であった。

刺激

実験 4 では，手指を固定して課題を行うだけであったが，本実験では，非関連，関連という条件も追加される。そのため，同じ刺激の操作を全ての条件で課す場合，刺激の数が少ないと，操作結果を記憶してしまい，操作しなくても回答できるようになる可能性が考えられる。そこで，実験 4 で使用した刺激に加えて，各操作課題用に刺激を新たに 2 つずつ作成した。そのため，本実験では，

Table 3-5 実験 5 における実験参加者の内訳

操作	群	人数	平均年齢	暗算技能	平均珠算経験（ヶ月）
上下	初級	8（男 2, 女 6）	10.0	7 級以上 4 級以下	19.1
	中熟達	8（男 1, 女 7）	10.6	1 級以上 3 段以下	45.4
	高熟達	8（男 4, 女 4）	11.3	4 段以上	58.6
左右	初級	8（男 2, 女 6）	10.4	7 級以上 4 級以下	27.5
	中熟達	8（男 1, 女 7）	10.6	1 級以上 3 段以下	48.0
	高熟達	8（男 2, 女 6）	10.8	4 段以上	51.9

上下用刺激が 6，左右用刺激が 6，合わせて 12 種類の刺激が用いられた (Figure 3-12)。刺激の作成の仕方は，実験 4 と同じである。

なお本実験では，参加者の負担を考慮して，以下の様なことを行なった。上下・左右操作課題とも操作回数は 1 と 3 のみにし，各操作課題用の 6 つの刺激に対して，各操作回数 2 通り，計 4 通りの操作を設定した。各操作に対しては，実験 4 同様に，一致，不一致の場合を設けた。したがって，上下・左右操作課題とも操作回数 1・3 とともに 24 試行ずつ（一致・不一致 12 試行ずつ），計 48 試行で，両操作課題を合わせると計 96 試行であった。これらを固定，非関連，関連全ての条件で行わせると 288 試行になり，参加者の負担が大きいと予想されるため，それを低減するために，操作方向に関しては参加者間要因にした。それでも操作課題の試行数は各条件 48，計 144 で，参加者への負担が大きいと考えられる。そのため，さらに負担が減るように，各操作課題において，作成した課題からランダムに，それぞれの条件に各刺激の各操作回数を 2 試行ずつ（一致・不一致 1 試行ずつ）割り当て，各条件 24 試行（各操作回数 12 試行，一致・不一致 6 試行ずつ），計 72 試行の課題セットを 4 つ作成し，それらを参加者間でカウンターバランスして，各群において各課題セットに 2 名ずつ割り当てた。

実験装置

固定条件時に実験参加者が両手で持つプラスチックケースには，実験 4 の反応ボックスにスイッチが付いていないものが使用された。残りの実験装置，タッピング装置等は全て実験 1 と同じであった。

手続き

操作-判断ブロック

実験は実験参加者が通う珠算塾で，参加者毎に個別に実施された。参加者は，実験用のパソコンが置かれた机

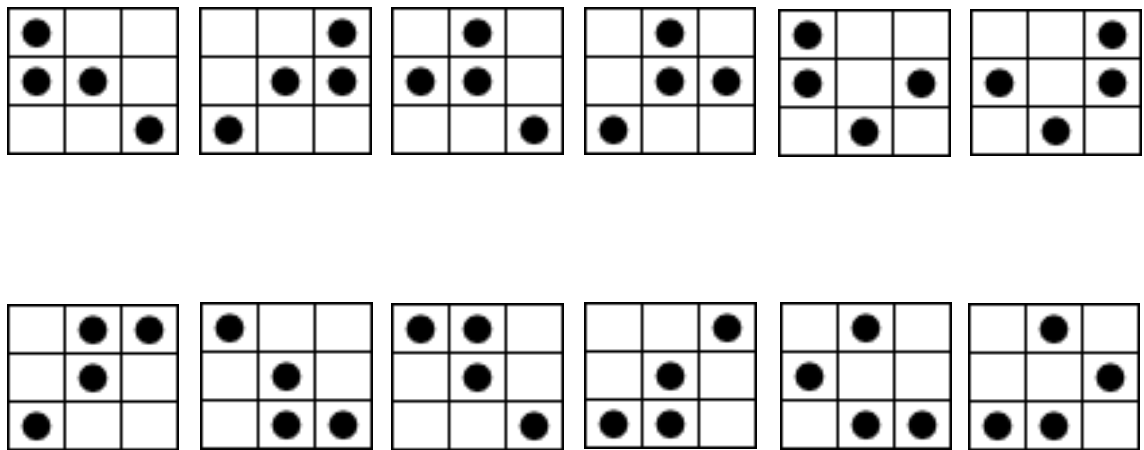


Figure 3-12 実験 5 で使用した円パターン
 上段が上下操作課題用，下段が左右操作課題用。

の前に座り，実験者から実験概要の説明を受けた。その後，音声スイッチ用のマイクが実験参加者の喉に取り付けられ，実験が開始された。

1 試行の流れは，Figure 3-13 に示すとおりである。始めに注視点が現れ，実験者のキー操作でブランク画面に切り替わった。500ms 後，条件を指定する文が呈示された。固定条件では「灰色のはこをもってください」という文が呈示され，実験参加者は灰色のプラスチックケースを両手で持つように求められた。非関連・関連条件では，課題と同時にタッピングを行うことを教示する「○（使用するタッピング装置に貼付されたシールと同色の小円）を使って下さい」という文が呈示され，実験参加者は指定された色のシールが貼ってあるタッピング装置に手を置くように求められた。実験者のキー操作でブランク画面に切り替わり，500ms 後，固定条件では「準備してください」，非関連・関連条件では「指を動かしてください」という教示文が 1500ms 呈示された。実験参加者は，固定条件では課題の準備をして待つように，非関連・関連条件ではタッピングを開始し，課題に答えるまでできるだけ速く正確に行うように求められた。それに続き，注視点が 1500ms，ブランク画面が 1000ms 呈示され，その後，円パターンが呈示された。それと同時に記銘時間のカウントが開始された。実験参加者はできるだけ速く正確に円パターンを記憶し，「はい」と口頭で回答するように求められた。実験参加者が回答すると，彼らの喉に取り付けられたマイクが声を感知し，記銘時間の計測が終了した。回答すると画面が切り替わり，500ms のブランク画面の後，空白のマトリックスの枠の外に上下，あるいは左右方向に向いた矢印が 1 つか 3 つ呈示された。実験参加者は保持していた円パターンをできるだけ速く正確に矢印に従って心的に操作し，その操作結果を記憶したら，「はい」と口頭で回答するよう

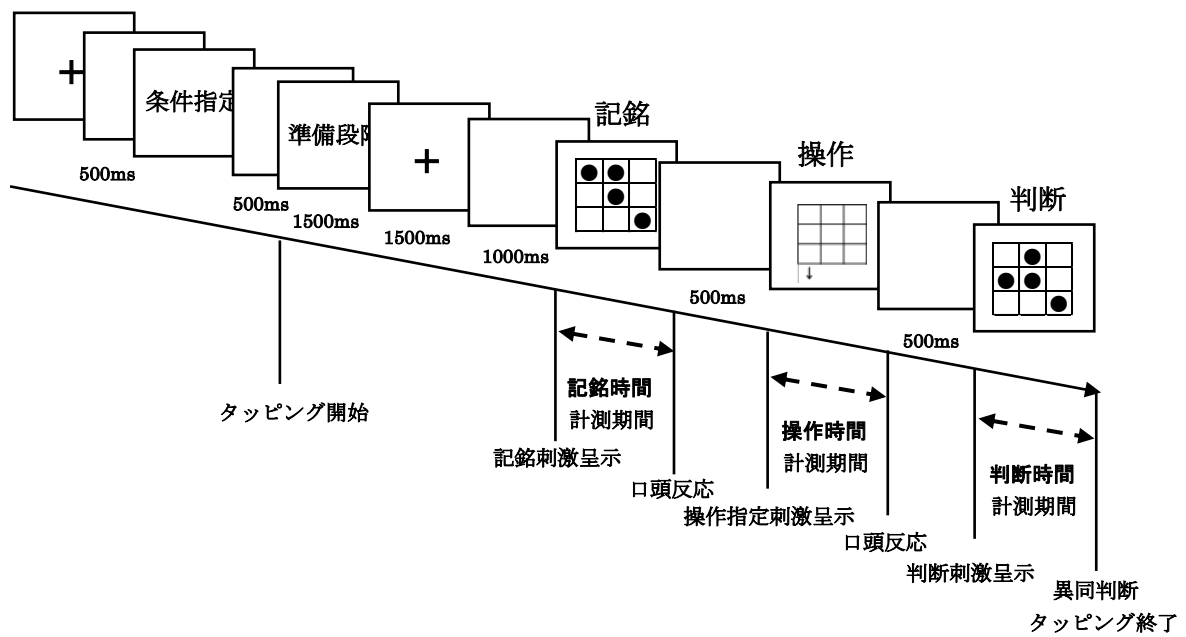


Figure 3-13 実験 5 の操作-判断ブロックの流れ

最初の注視点および条件指定では実験者のキー操作，また記録・操作・判断フェーズでは，実験参加者の口頭反応により，次の画面に進んだ。

に求められた。空白のマトリックスの呈示と同時に操作時間のカウントが開始され、回答すると操作時間の計測が終了した。回答後、500msのブランク画面の後に、円パターンが呈示された。実験参加者は、それと操作後の円パターンに関する異同判断をできるだけ速く正確に口頭により行うように求められた。それらが同じ場合は「同じ」、違う場合は「違う」と回答するように教示された。円パターンの呈示と同時に判断時間のカウントが開始され、回答すると判断時間の計測が終了した。以上が1試行の流れである。刺激はランダムに呈示された。実験参加者の回答は実験者が筆記した。

記銘-判断ブロック

記銘刺激の呈示までは、操作-判断ブロックと同じである（Figure 3-14）。その後、実験4と同様のランダムドットパターンが呈示され、実験参加者はそれを見続けるように教示された。3秒後、画面が切り替わり、円パターンが呈示された。実験参加者は、それと保持している円パターンに関する異同判断をできるだけ速く正確に口頭により行うように求められた。同じ場合は「同じ」、違う場合は「違う」と答えるように教示された。円パターンの呈示と同時に判断時間のカウントが開始され、回答と同時に判断時間の計測が終了した。以上が1試行の流れである。刺激はランダムに呈示された。実験参加者の回答は実験者が筆記した。また、タッピングベース試行も、実験1同様に実施された。

実験は練習試行（6試行）、タッピングベースライン1（2試行）、記銘-判断ブロック1（9試行）、操作-判断ブロック1（18試行）、記銘-判断ブロック2（9試行）、操作-判断ブロック2（18試行）、タッピングベースライン2（2試行）、記銘-判断ブロック3（9試行）、操作-判断ブロック3（18試行）、記銘-判断ブロック4（9試行）、操作-判断ブロック4（18試行）、タッピングベースライ

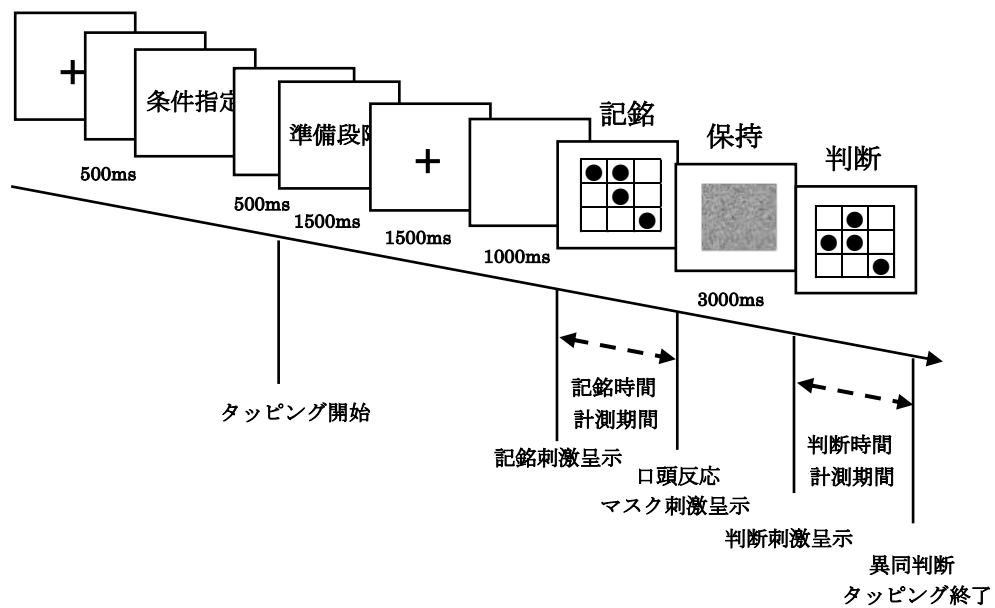


Figure 3-14 実験 5 の記録-判断ブロックの流れ

最初の注視点および条件指定では実験者のキー操作，また記録・判断フェーズでは，実験参加者の口頭反応により，次の画面に進んだ。

ン 3 (2 試行) という順序で, 参加者の負担を考慮して各操作・判断ブロック後に休憩を挟みながら行われた。練習試行は各操作回数が 2 試行ずつであった。操作・判断ブロックは, 各操作課題で 1 ブロック 18 試行 (各条件 6 試行ずつ, 一致・不一致 3 試行ずつ), 各条件で操作回数 1・3 とともに 3 試行ずつ, 計 4 ブロック 72 試行であった。記銘・判断ブロックは, 1 ブロック 9 試行 (各条件 3 試行ずつ), 計 4 ブロック 36 試行 (各条件 12 試行, 一致・不一致 6 試行ずつ) であった。記銘・判断ブロックでは, 半分のブロックで一致が 5 試行, 不一致が 4 試行, 残りの半分では一致が 4 試行, 不一致が 5 試行であったため, 各条件で 4 ブロック合わせて, 一致・不一致 6 試行ずつになるように設定された。

結果

タッピングベースラインの分析

まず, タッピングベースラインに関して, 群 (初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達; 被験者間) と操作方向 (上下 vs. 左右; 被験者間) と手の動き (非関連 vs. 関連; 被験者内) を要因とする 3 要因混合分散分析を行った。その結果, 全ての主効果, 交互作用は有意ではなかった (all F s < 3.2 , p s $> .05$) (Table 3-6)。

記銘・判断ブロックの分析 1: 記銘時間

記銘・判断ブロックの分析では, 群 (初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達; 被験者間) と刺激 (上下用 vs. 左右用; 被験者間) と手の動き (固定 vs. 非関連 vs. 関連; 被験者内) を要因とする 3 要因混合分散分析を行った。記銘時間に関しては, 群 ($F(2, 42) = 3.874$, $p < .05$) と手の動き ($F(2, 84) = 11.000$, $p < .001$) の主効果が有意であった。群に関して, ライアン法を用いた多重比較を行った結果, 初級群と高熟達群 ($t(42) = 2.656$, $p < .05$)

Table 3-6 タッピングベースライン試行における，1 秒当たりの
平均タッピング回数（括弧内は標準偏差）（実験 5）

操作	群	非関連	関連
上下	初級	1.9 (0.7)	2.0 (0.9)
	中熟達	1.9 (0.7)	2.2 (0.9)
	高熟達	2.2 (0.7)	2.5 (0.7)
左右	初級	1.5 (0.5)	1.6 (0.7)
	中熟達	2.1 (0.5)	1.9 (0.4)
	高熟達	1.7 (0.5)	1.9 (0.8)

間に有意差が見られ、初級群と中熟達群 ($t(42) = 2.050$, $n.s.$)、中熟達群と高熟達群 ($t(42) = 0.606$, $n.s.$) 間には有意差は見られなかった (Figure 3-15)。手の動きに関しても同様の多重比較を行った結果、固定と非関連 ($t(84) = 4.488$, $p < .001$)、固定と関連条件間 ($t(84) = 3.425$, $p < .001$) に有意差が見られ、非関連と関連条件間には有意差は見られなかった ($t(84) = 1.062$, $n.s.$) (Figure 3-16)。刺激の主効果および全ての交互作用は有意ではなかった ($\text{all } Fs < 1.4$, $ps > .05$) (Table 3-7, 3-8)。

記銘-判断ブロックの分析 2：判断時間・記銘正答率

判断時間に関しても記銘時間同様に、3 要因混合分散分析を行った結果、群の主効果のみが有意であった ($F(2,42) = 4.702$, $p < .05$)。ライアン法を用いた多重比較の結果、初級群と高熟達群間 ($t(42) = 3.061$, $p < .005$) に有意差が見られ、初級群と中熟達群 ($t(42) = 1.691$, $n.s.$)、中熟達群と高熟達群 ($t(42) = 1.370$, $n.s.$) の間には有意差は見られなかった (Figure 3-17)。刺激、手の動きの主効果および全ての交互作用は有意ではなかった ($\text{all } Fs < 2.5$, $ps > .05$)。記銘正答率に関しても、3 要因混合分散分析を行った結果、全ての効果が有意ではなかった ($\text{all } Fs < 1.8$, $ps > .05$) (Table 3-7, 3-8)。

操作-判断ブロックの分析 1：記銘時間

操作-判断ブロックの分析では、記銘時間に関しては、刺激（上下用 vs. 左右用；被験者間）と群（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達；被験者間）と手の動き（固定 vs. 非関連 vs. 関連；被験者内）を要因とする 3 要因混合分散分析を行った。その結果、群 ($F(2,42) = 4.358$, $p < .05$)、手の動き ($F(2,84) = 10.176$, $p < .001$) の主効果が有意であった。群の結果に関して、ライアン法を用いた多重比較を行った結果、初級群と高熟達群 ($t(42) = 2.799$, p

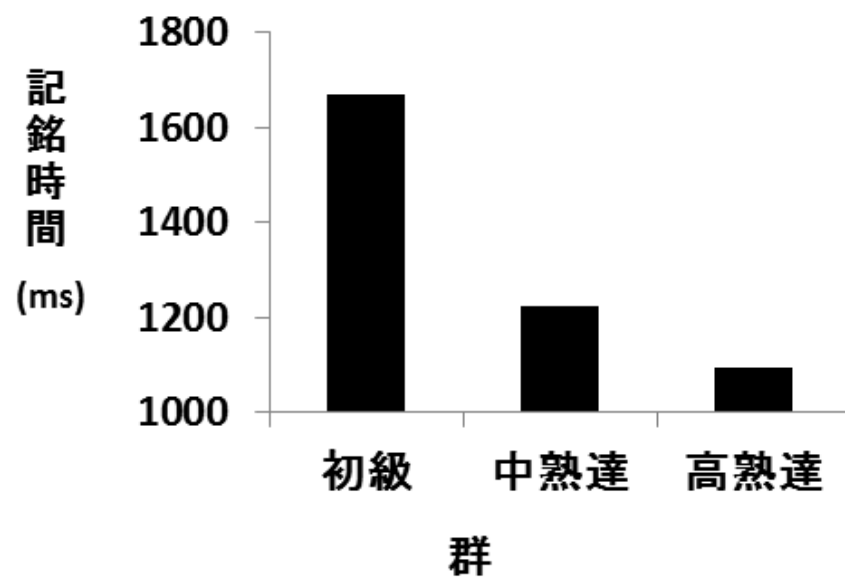


Figure 3-15 記録-判断ブロックにおける各群の記録時間（実験 5）

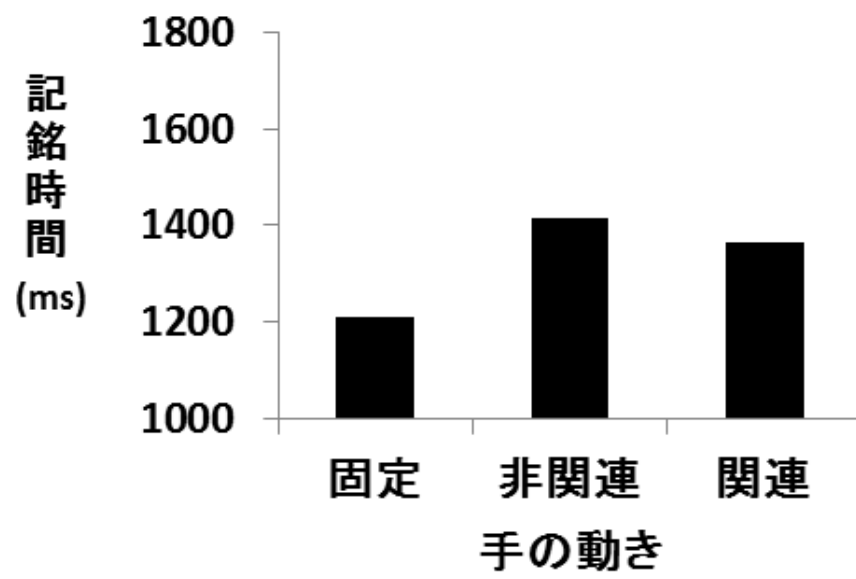


Figure 3-16 記録-判断ブロックにおける各手の動きの記録時間（実験 5）

Table 3-7 記銘-判断ブロックにおける上下操作刺激の平均記銘時間，平均判断時間，平均記銘正答率（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	上下用記銘時間 (ms)			上下用判断時間 (ms)			上下用記銘正答率 (%)		
	固定	非関連	関連	固定	非関連	関連	固定	非関連	関連
初級	1218 (271)	1523 (522)	1397 (336)	1135 (250)	1163 (232)	1205 (269)	99.0 (2.8)	99.0 (2.8)	97.9 (5.5)
中熟達	1093 (347)	1424 (478)	1238 (399)	1015 (178)	1053 (156)	967 (154)	99.0 (2.8)	97.9 (3.6)	99.0 (2.8)
高熟達	992 (681)	1100 (660)	1207 (679)	896 (174)	970 (241)	995 (284)	100 (0.0)	99.0 (2.8)	97.9 (3.6)

Table 3-8 記銘-判断ブロックにおける左右操作用刺激の平均記銘時間，平均判断時間，平均記銘正答率（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	左右用記銘時間 (ms)			左右用判断時間 (ms)			左右用記銘正答率 (%)		
	固定	非関連	関連	固定	非関連	関連	固定	非関連	関連
初級	1836 (738)	1997 (1017)	2038 (1153)	1186 (129)	1172 (149)	1246 (233)	100 (0.0)	100 (0.0)	97.9 (3.6)
中熟達	1157 (521)	1270 (632)	1168 (520)	1041 (379)	1092 (379)	1094 (351)	99.0 (2.8)	100 (0.0)	99.0 (2.8)
高熟達	951 (261)	1171 (265)	1144 (319)	889 (107)	914 (109)	915 (127)	100 (0.0)	99.0 (2.8)	100 (0.0)

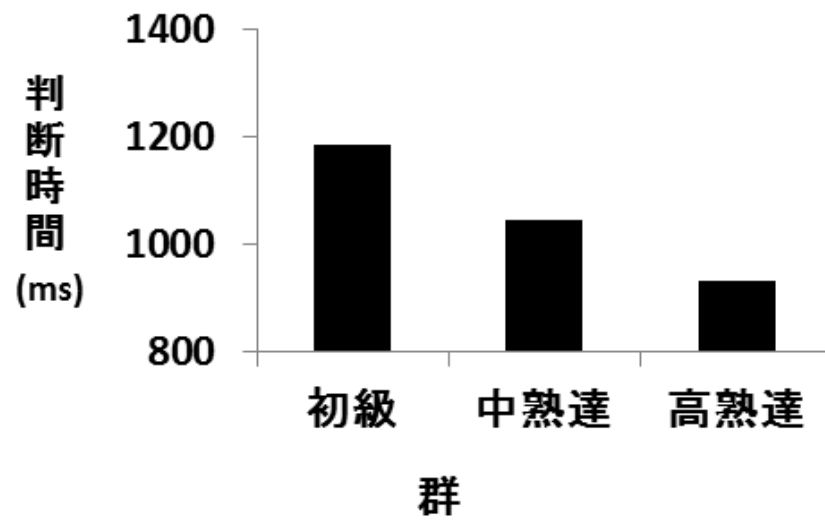


Figure 3-17 記銘-判断ブロックにおける各群の判断時間（実験 5）

<.01), 初級群と中熟達群 ($t(42) = 2.213, p < .05$) の間に有意差が見られ, 中熟達群と高熟達群の間には有意差は見られなかった ($t(42) = 0.585, n.s.$) (Figure 3-18)。手の動きに関して同様の多重比較を行った結果, 固定と非関連 ($t(84) = 3.614, p < .001$), 固定と関連条件間 ($t(84) = 4.145, p < .001$) に有意差が見られ, 非関連と関連条件間には有意差は見られなかった ($t(84) = 0.531, n.s.$) (Figure 3-19)。刺激の主効果, 全ての交互作用は有意ではなかった ($\text{all } Fs < 1.9, ps > .05$) (Table 3-9)。

操作-判断ブロックの分析 2: 操作正答率

操作正答率に関しては, 操作方向 (上下 vs. 左右; 被験者間) と群 (初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達; 被験者間) と操作回数 (1 vs. 3; 被験者内) と手の動き (固定 vs. 非関連 vs. 関連; 被験者内) の 4 要因混合分散分析を行った。その結果, 群 ($F(2,42) = 6.534, p < .005$), 手の動き ($F(2,84) = 6.785, p < .005$), 操作回数 ($F(1,42) = 114.768, p < .001$) の主効果が有意であった。群に関してライアン法を用いた多重比較を行った結果, 初級群と高熟達群 ($t(84) = 3.521, p < .001$), 初級群と中熟達群 ($t(42) = 2.469, p < .05$) 間に有意差が見られ, 中熟達群と高熟達群間には有意差は見られなかった ($t(42) = 1.052, n.s.$) (Figure 3-20)。手の動きに関しても同様の多重比較を行った結果, 固定と非関連 ($t(84) = 3.639, p < .001$), 固定と関連条件間 ($t(84) = 2.318, p < .05$) に有意差が見られ, 非関連と関連条件間には有意差は見られなかった ($t(84) = 1.321, n.s.$) (Figure 3-21)。操作回数に関しては, 操作回数 1 の方が, 操作回数 3 よりも操作正答率が高いことが示された (Figure 3-22)。操作方向の主効果および全ての交互作用は有意ではなかった ($\text{all } Fs < 1.7, ps > .05$) (Table 3-10, 3-11)。

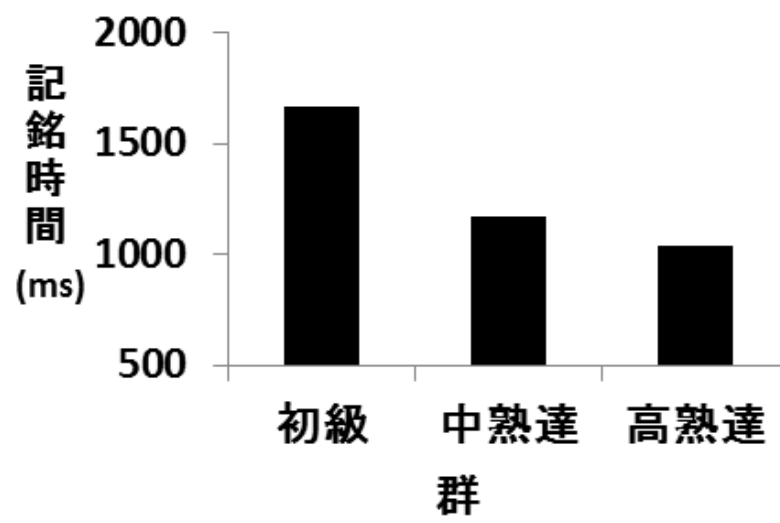


Figure 3-18 操作-判断ブロックにおける各群の記録時間（実験 5）

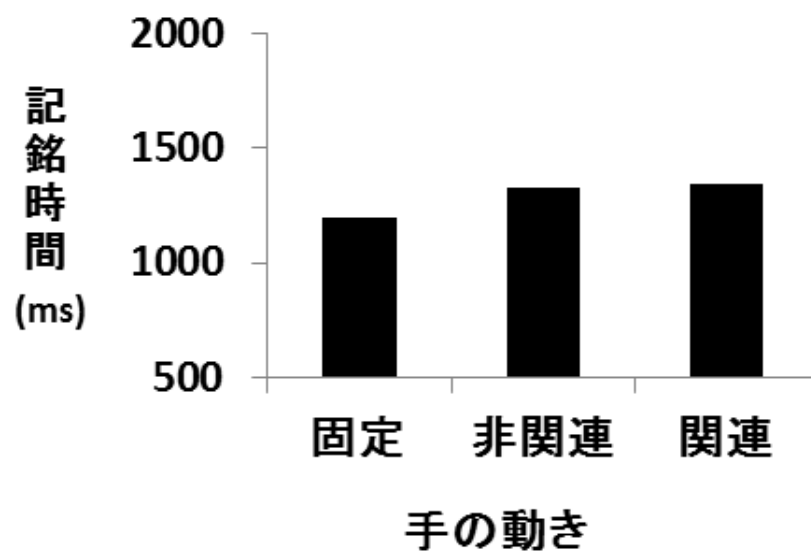


Figure 3-19 操作-判断ブロックにおける各手の動きの記録時間（実験 5）

Table 3-9 操作-判断ブロックにおける上下・左右操作用刺激の平均記銘時間（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	上下用記銘時間（ms）			左右用記銘時間（ms）		
	固定	非関連	関連	固定	非関連	関連
初級	1170 (300)	1419 (405)	1349 (381)	1898 (882)	2026 (1004)	2159 (1372)
中熟達	1117 (396)	1128 (287)	1214 (344)	1089 (442)	1246 (560)	1214 (470)
高熟達	941 (636)	1086 (750)	1058 (595)	972 (294)	1064 (339)	1089 (365)

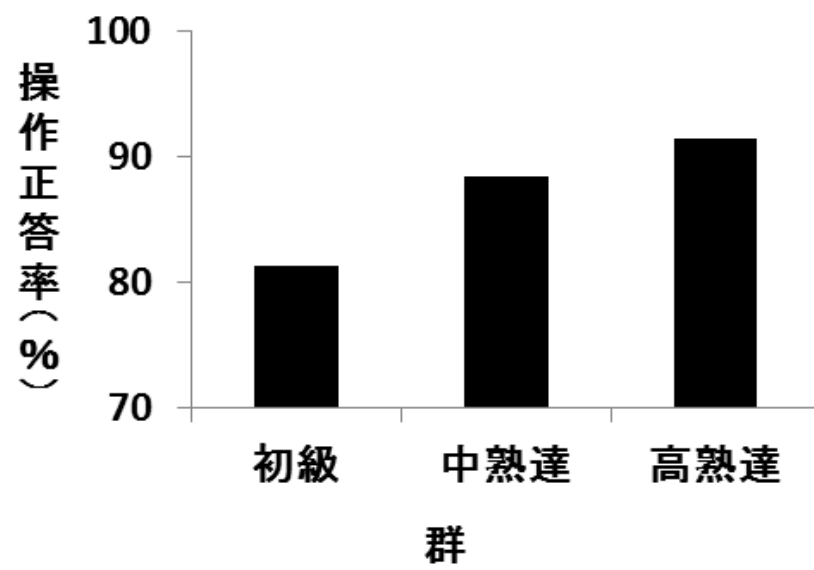


Figure 3-20 操作-判断ブロックにおける各群の操作正答率 (実験 5)

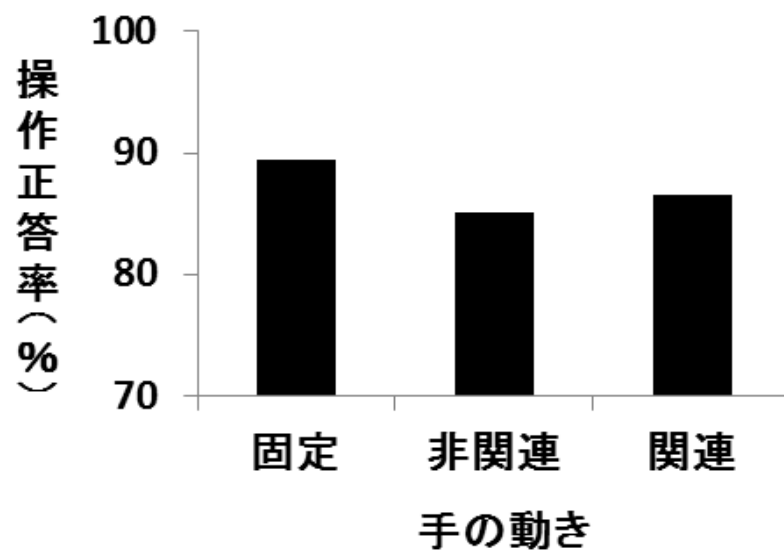


Figure 3-21 操作-判断ブロックにおける各手の動きの操作正答率（実験 5）

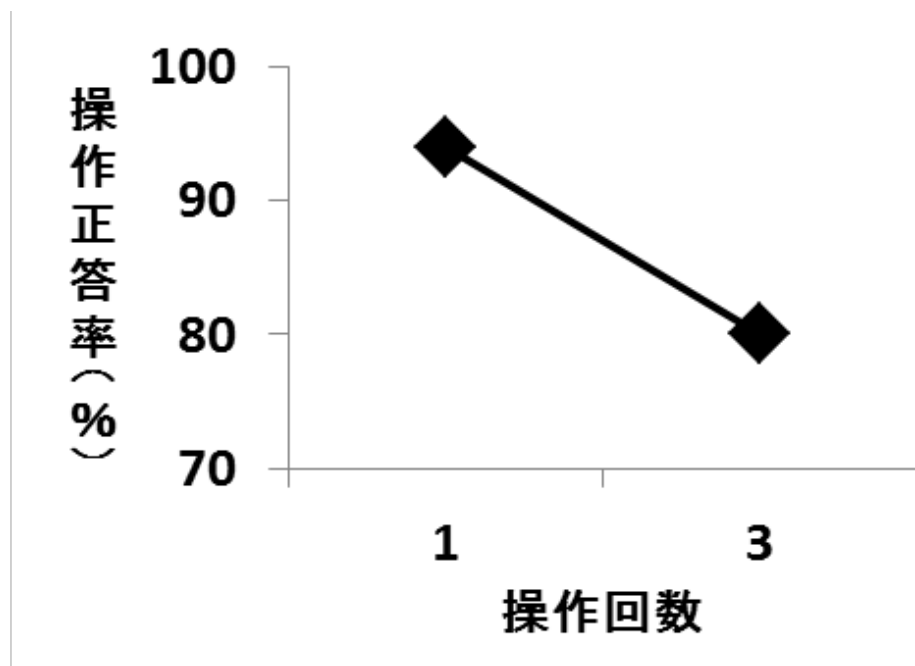


Figure 3-22 操作-判断ブロックにおける操作回数の関数としての操作正答率（実験 5）

Table 3-10 操作-判断ブロックにおける上下操作の平均正答率（括弧内は標準偏差）（実験 5）

上下操作正答率（%）						
	固定 1	非関連 1	関連 1	固定 3	非関連 3	関連 3
初級	89.1 (10.0)	81.8 (20.4)	89.6 (11.6)	73.4 (14.6)	74.5 (17.7)	71.9 (16.1)
中熟達	97.9 (3.6)	91.7 (10.2)	92.7 (7.7)	81.3 (11.6)	78.1 (8.3)	76.0 (12.1)
高熟達	97.9 (5.5)	98.4 (4.1)	97.9 (5.5)	91.7 (9.3)	83.3 (11.8)	90.6 (6.5)

Table 3-11 操作・判断ブロックにおける左右操作の平均正答率（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	左右操作正答率（%）					
	固定 1	非関連 1	関連 1	固定 3	非関連 3	関連 3
初級	93.2 (10.2)	89.6 (10.0)	85.4 (18.5)	76.6 (12.1)	71.9 (15.6)	79.2 (10.2)
中熟達	99.0 (2.8)	97.9 (3.6)	99.0 (2.8)	84.4 (6.5)	83.3 (11.8)	79.2 (12.5)
高熟達	99.0 (2.8)	95.3 (4.9)	96.9 (4.0)	89.1 (8.6)	75.0 (13.8)	81.3 (13.7)

操作-判断ブロックの分析 3：操作時間

操作時間に関しても操作正答率同様の4要因混合分散分析を行った結果，操作回数と手の動きの交互作用が有意であった（ $F(2,84) = 8.368, p < .001$ ）。単純主効果検定の結果，操作回数3（ $F(2,168) = 4.810, p < .01$ ）は有意であったが，操作回数1は有意ではなかった（ $F(2,168) = 2.450, n.s.$ ）。そこで，操作回数3に関して多重比較を行ったところ，固定と非関連（ $t(168) = 2.948, p < .005$ ），固定と関連条件間（ $t(168) = 2.308, p < .05$ ）に有意差が見られ，非関連と関連条件間に有意差は見られなかった（ $t(168) = 0.640, n.s.$ ）（Figure 3-23）。群の主効果も有意（ $F(2,42) = 6.069, p < .01$ ）で，多重比較の結果，初級群と高熟達群（ $t(42) = 3.276, p < .005$ ），中熟達群と高熟達群（ $t(42) = 2.666, p < .05$ ）間に有意差が見られ，初級群と中熟達群間には有意差は見られなかった（ $t(42) = 0.610, n.s.$ ）（Figure 3-24）。操作回数の主効果も有意（ $F(1, 42) = 120.625, p < .001$ ）（Figure 3-25）であり，操作回数1よりも3の方が操作時間は長かった。操作回数と手の動き以外の交互作用，および操作方向，手の動きの主効果は全て有意でなかった（all $Fs < 2.5, ps > .05$ ）（Table 3-12, 3-13）。

操作-判断ブロックの分析 4：判断時間

判断時間に関しても操作正答率同様に4要因混合分散分析を行った結果，群と操作回数の交互作用が有意であった（ $F(2,42) = 7.367, p < .005$ ）。単純主効果検定の結果，操作回数3（ $F(2,84) = 12.056, p < .001$ ）は有意となったが，操作回数1は有意ではなかった（ $F(2,84) = 2.669, n.s.$ ）。操作回数3に関して多重比較を行った結果，初級群と高熟達群（ $t(84) = 4.567, p < .001$ ），初級群と中熟達群（ $t(84) = 3.845, p < .001$ ）間に有意差が見られ，中熟達群と高熟達群間（ $t(84) = 0.791, n.s.$ ）

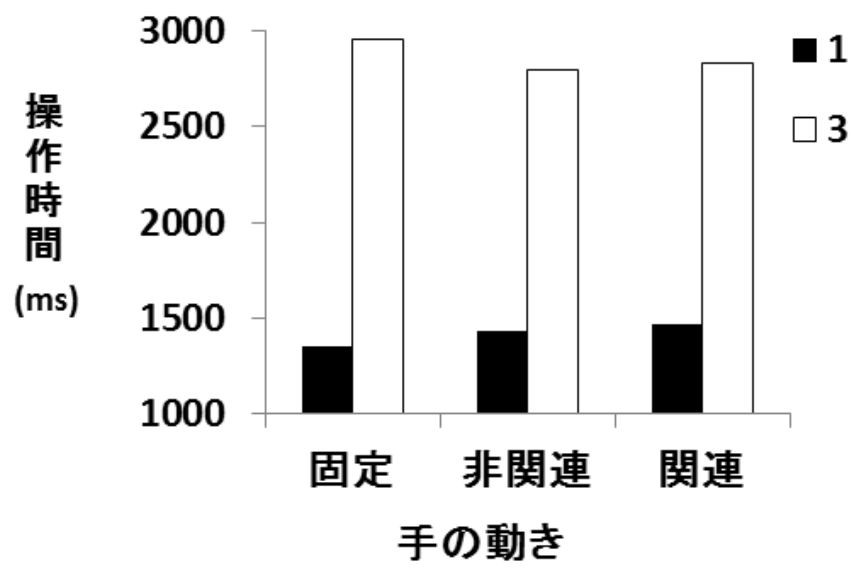


Figure 3-23 操作・判断ブロックにおける各手の動きの各操作回数の操作時間（実験 5）

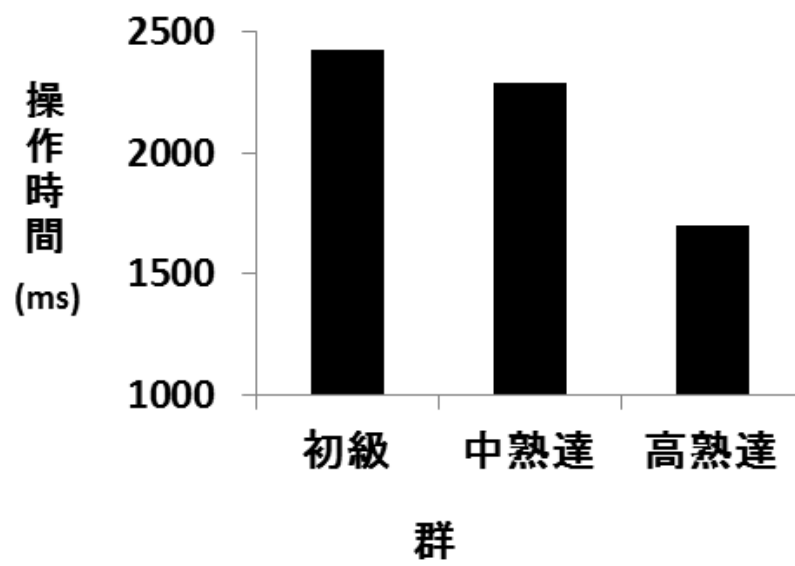


Figure 3-24 操作-判断ブロックにおける各群の操作時間（実験 5）

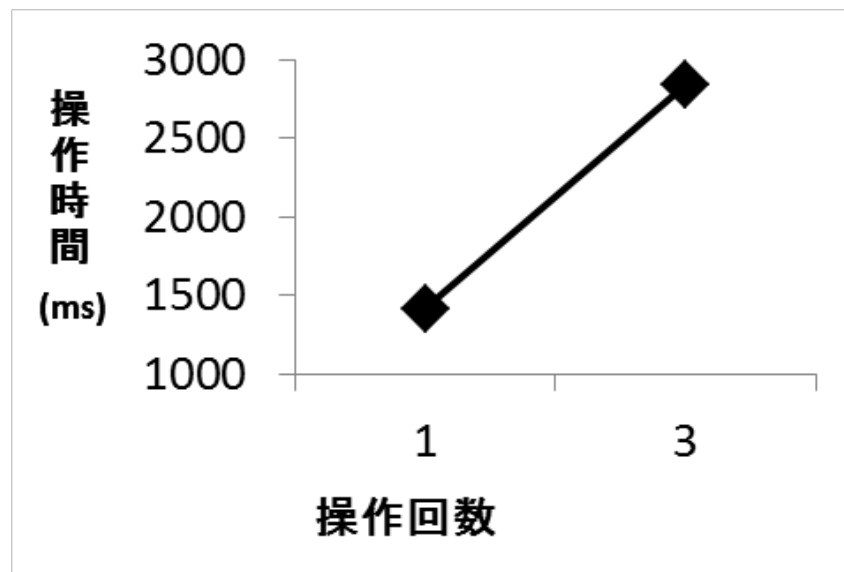


Figure 3-25 操作-判断ブロックにおける操作回数の関数としての操作時間（実験 5）

Table 3-12 操作-判断ブロックにおける平均上下操作時間（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	上下操作時間（ms）					
	固定 1	非関連 1	関連 1	固定 3	非関連 3	関連 3
初級	1312 (189)	1532 (335)	1519 (252)	2889 (843)	2673 (615)	2739 (751)
中熟達	1332 (273)	1531 (412)	1490 (332)	3158 (1142)	2863 (1184)	2944 (1015)
高熟達	1105 (463)	1180 (537)	1159 (470)	2220 (965)	2123 (706)	2137 (562)

Table 3-13 操作-判断ブロックにおける平均左右操作時間（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	左右操作時間（ms）					
	固定 1	非関連 1	関連 1	固定 3	非関連 3	関連 3
初級	1868 (319)	1830 (321)	2022 (302)	3860 (784)	3277 (859)	3592 (1249)
中熟達	1307 (418)	1355 (433)	1443 (349)	3163 (1453)	3516 (1567)	3384 (1841)
高熟達	1178 (195)	1153 (240)	1154 (220)	2433 (444)	2334 (587)	2193 (352)

には有意差は見られなかった (Figure 3-26)。群の主効果 ($F(2,42) = 6.069, p < .01$)、操作回数の主効果 ($F(1,42) = 103.679, p < .001$) も有意であった。上述の交互作用における単純主効果の検定において、操作回数 1 は有意でなく、3 で有意となっていた。したがって、操作回数の主効果は、主として操作回数 3 によって生じているものと思われる。群の主効果に関して多重比較を行ったところ、初級群と高熟達群 ($t(42) = 3.647, p < .001$)、初級群と中熟達群 ($t(42) = 2.856, p < .01$) 間に有意差が見られ、中熟達群と高熟達群間には有意差は見られなかった ($t(42) = 0.791, n.s.$) (Figure 3-27)。その他の交互作用、主効果は全て有意ではなかった (all $Fs < 2.5, ps > .05$) (Table 3-14, 3-15)。

考 察

本実験では、暗算能力別に分けた珠算学習者に、円パターンを心的に上下・左右に操作させる課題と同時に、非関連・関連タッピングを課し、そのイメージ操作に一般、特殊両機能がどのように関わっているのかを検証した。すなわち、次の 2 つの可能性について検討した。

第 1 は、円パターン・イメージの上下・左右操作とも、ソロバンイメージ操作を行う際と全く同様に、一般、特殊機能に依存するという可能性である。この場合、操作正答率、操作時間は実験 1～3 と全く同じような干渉パターンを示すと予想される。

第 2 は、円パターン・イメージの操作方向により、一般、特殊機能への依存の仕方が異なる可能性である。この場合、相対的にソロバンイメージ操作との類似度が高いと考えられる上下操作においては、操作正答率、操作時間は実験 1～3 と同じ干渉パターンになると予想される。一方、相対的に類似度が低いと考えられる左右操作では、一般機能にのみ依存するか、あるいは、両機能に

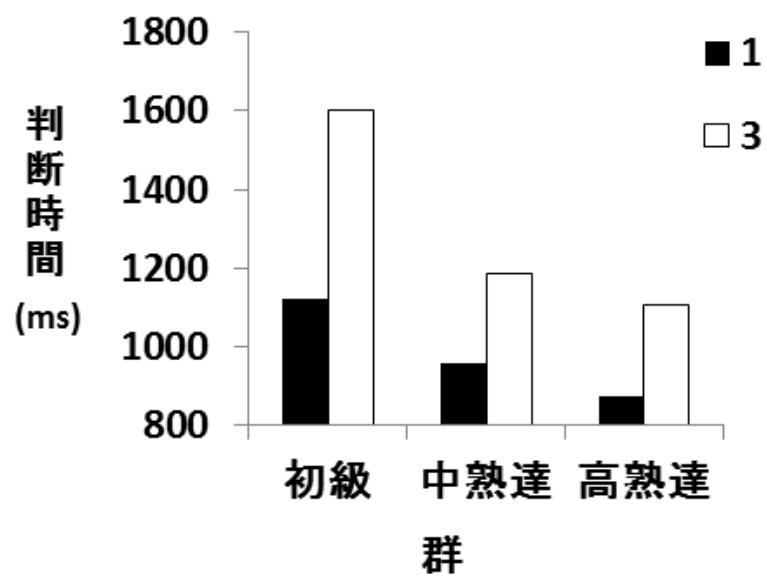


Figure 3-26 操作-判断ブロックにおける各群の各操作回数の判断時間 (実験 5)

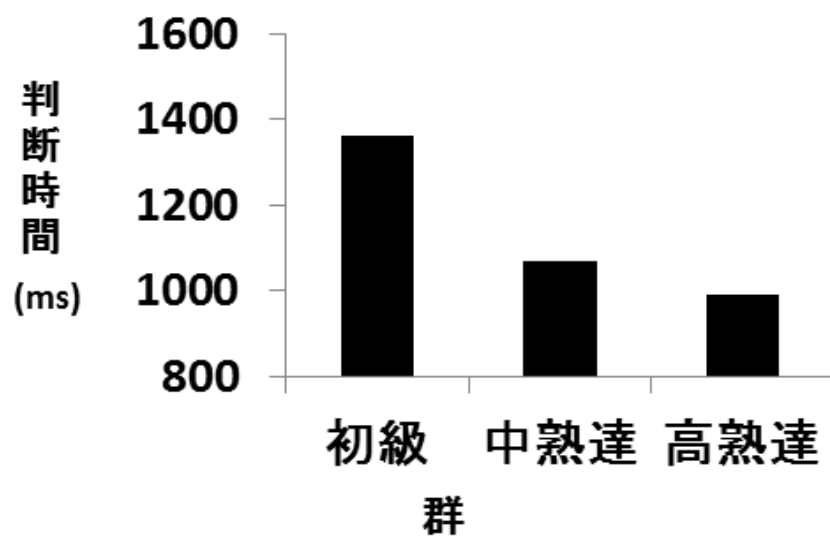


Figure 3-27 操作・判断ブロックにおける各群の判断時間（実験 5）

Table 3-14 操作-判断ブロックにおける平均上下判断時間（括弧内は標準偏差）（実験 5）

	上下判断時間（ms）					
	固定 1	非関連 1	関連 1	固定 3	非関連 3	関連 3
初級	1200 (316)	1183 (333)	1172 (303)	1664 (399)	1694 (570)	1969 (627)
中熟達	954 (217)	971 (161)	906 (164)	1118 (260)	1283 (669)	1108 (323)
高熟達	803 (151)	908 (413)	817 (212)	1017 (176)	993 (239)	1069 (416)

Table 3-15 操作-判断ブロックにおける平均左右判断時間（括弧内は標準偏差）（実験 5）

左右判断時間（ms）						
	固定 1	非関連 1	関連 1	固定 3	非関連 3	関連 3
初級	1031 (84)	1068 (158)	1087 (245)	1399 (325)	1610 (400)	1382 (327)
中熟達	946 (243)	1037 (318)	973 (299)	1120 (293)	1187 (348)	1345 (554)
高熟達	868 (135)	925 (151)	933 (175)	1168 (171)	1168 (170)	1212 (283)

依存するが，相対的には一般機能への依存度の方が高い可能性がある。その場合，中熟達群，高熟達群の操作正答率，操作時間は，非関連条件のみ成績が低下するか，あるいは，非関連・関連条件ともに成績が低下するが，相対的には非関連条件の成績の方が低くなると推測される。初級群は，一般機能に依存してイメージ操作行うため，成績は上下操作と同じパターンを示すと予想される。

これらの予測に対して，本実験では，どのような結果が示されたのかを，以下の順に述べていく。タッピングの干渉効果に関して，各群におけるタッピング能力や，各タッピングの難易度が異なる場合，結果の解釈に配慮が必要になるので，始めにタッピングベースラインの結果から述べる。次に，操作課題成績に群間で差がある場合，それが操作能力の違いによって得られたのかどうかを確認できるように，記銘・判断ブロックの結果を述べる。その後，本実験の最重要項目である，タッピングの干渉効果について述べ，さらに，操作課題成績と一般，特殊両機能の関係について記述する。最後に，操作・判断ブロックの記銘，判断時間の成績について述べる。

タッピング能力およびタッピングの難易度

タッピングベースラインに関する分析では，群，操作方向，手の動きに関して有意差は見られなかった（Table 3-6）。この結果は，両タッピングの難易度に差がないこと，両タッピング能力は，各群，各操作方向で差がないことを示している。したがって，本実験においても，タッピングの干渉効果については，特別な配慮を行う必要はないと考えられる。

記銘・判断ブロックに関する結果

記銘・判断ブロックでは，記銘・判断時間ともに群の主効果が有意で，初級群と高熟達群の間に有意差が見ら

れ (Figure 3-15, 3-17), 熟達度が高いほど, 円パターンの記銘や判断時間が速かった。一方, 記銘正答率に関しては, 群間差が見られず, 少なくとも本実験で使用した円パターンの記銘の正確性については, 群間に差はないことが示された (Table 3-7, 3-8)。高熟達者ほど, ソロバンイメージを記銘し, それを操作した結果パターンから数を読みだす練習を数多く行っている。そのため, 円パターンを記銘する能力や, 円パターンを操作し, その結果パターンから情報を読みだすという, 判断に必要な能力も向上したと考えられる。ただし, 記銘の正確性に関しては, 熟達の早い段階で能力の転移が生じるため, 群間に差が生じなかったのかもしれない。

以上のように, 記銘・判断ブロックの記銘時間や判断時間に群間差が生じたのは, 実験 4 の結果とは異なるものであった。実験 5 では, タッピングを行う条件も追加されたため, 課題の難易度が相対的に上昇し, 群間における能力差が検出されやすくなったのかもしれない。なお, 記銘に関する能力差が, 本実験のイメージ操作課題に及ぼす影響に関しては, 操作課題成績について考察する際に改めて述べることにする。

また, 記銘時間に関しては, 手の動きの主効果も有意で, 円パターンの記銘は, 非関連・関連タッピングの影響を同等に受けることが示された (Figure 3-16)。これは, イメージの形成には運動が密接に関与するという先行知見 (菱谷, 2003) を支持するものであった。刺激に関しては全ての条件間で有意差は生じておらず, 本実験においても, 各課題用の刺激の難易度に関しては同等であると考えられる。

円パターン・イメージの操作における一般, 特殊機能の関与

操作・判断ブロックの操作正答率に関しては, 手の動

きの主効果が有意で，固定条件に比して，両タッピング条件で正答率が低く，タッピング条件間には差が見られなかった（Figure 3-21）。この結果は，円パターンのイメージ操作は，両タッピングの影響を同等に受けることを示唆している。また，手の動き×群，あるいは手の動き×群×操作方向の交互作用が有意ではなかった。したがって，少なくとも操作正答率を指標にした場合，上下・左右というイメージ操作の方向，あるいは熟達の程度に関わらず，円パターンのイメージ操作は，両タッピングの影響を同等に受けると言えよう。

操作時間の分析では，操作回数と手の動きの交互作用が有意で，操作回数が3の時に，非関連・関連タッピング条件に比べ固定条件で操作時間が長く，両タッピング条件間には差がないことが示された（Figure 3-23）。当初は，タッピング条件の方が，固定条件よりも操作時間が長くなることを想定していたが，本実験では逆の結果が示された。このような結果はなぜ生じたのであろうか。1つの可能性として，実験参加者に焦燥反応が生じていたことが考えられる。操作回数3の時は，操作回数1の時よりも，操作を完了するまでに時間がかかるため，イメージ操作がタッピングの影響をより受けやすい。そのため，操作回数3の時は，タッピングによりイメージ操作が干渉される前に回答するという志向が強まり，タッピングの干渉がない固定条件よりも操作時間が速くなったのかもしれない。一方，操作回数1の時は，操作回数3の時に比べ，操作が速く完了するため，焦燥反応やタッピングの干渉効果はそれほど生じず，条件間に差が見られなかったのかもしれない。

上述の結果，特に操作正答率の結果から判断すると，既に指摘したように，円パターン・イメージの上下・左右操作は，群に関わらず，非関連・関連タッピングの影響を同等に受けると考えられる。すなわち，どの群も，

イメージ操作の方向に関わらず，**Figure 3-21**と本質的に同じような干渉パターンを示すのであろうということである。実験 1～3 の干渉パターンに対応させて考えると，初級群（**Figure 2-5**）と高熟達群（**Figure 2-9**）は，同じパターンといえよう。したがって，実験 1～4 の議論を踏まえると，操作方向に関わらず，円パターンのイメージ操作には，ソロバンイメージ操作の場合と同じように，初級群は一般機能のみに，また高熟達群は，一般，特殊両機能に同等に依存した結果，本実験のような干渉パターンになったと考えられる。

ところで，中熟達群は，ソロバンイメージ操作時は，一般，特殊両機能に依存し，相対的には特殊機能への依存度の方が高いという結果を実験 2 は示していた（**Figure 2-7**）。しかし，円パターン・イメージの上下・左右操作では，両機能への依存度の違いを示唆するような結果は，少なくとも本実験からは得られなかった。円パターンのイメージ操作は，ソロバンイメージ操作と「対象」や「操作」が類似していると考えられるが，全く同じというわけではない。そのため，特殊機能の役割は低下し，その結果，特殊機能への依存度も相対的に低くなり，両機能への依存の程度が同等になったのかもしれない。

操作課題成績および一般，特殊機能との関係

操作・判断ブロックの操作正答率では，群の主効果が有意で，初級群と中熟達・高熟達群間に有意差が見られた（**Figure 3-20**）。上述したように，記銘・判断ブロックにおいては，記銘の正確性には群間で差は見られなかった。したがって，操作・判断ブロックにおいて，操作正答率に群間差が生じたことは，熟達度により，円パターンのイメージ操作の正確性に違いがあることを示唆している。また，操作時間においても群の主効果が有意で，初級・中熟達群に比べ，高熟達群の方が，操作時間が速

いことが示された（Figure 3-24）。先述のように，記銘・判断ブロックでは，高熟達群ほど，記銘時間や判断時間が速いことが示されており，これを踏まえると，操作時間の差は，実は群間での記銘や判断における速度の差によって生じた可能性も考えられる。ただし，本実験では，記銘・操作・判断ごとにフェーズを分け，それらをセルフペースで行わせている。そのため，記銘，判断速度が遅い群ほど，記銘や判断に十分な時間を掛けられず，その影響により操作時間が長くなったとは考えにくい。したがって，操作時間の差も，操作能力の違いによって生じたと考えるのが妥当と思われる。また実験 4 とは異なり，操作時間に群間差が生じたのは，先述のように，タッピングが課されたことによる，課題の難易度上昇の影響によるものと推察される。

以上の結果は，熟達度が高いほど，円パターン・イメージの上下・左右操作能力が向上していることを示すものであった。これとタッピングの干渉効果に関する考察で述べた（p.128～130），円パターンのイメージ操作に対する一般，特殊機能への依存の仕方を踏まえると，熟達度が高いほど両機能を駆使できるため，円パターンのイメージ操作に優れ，課題成績が良くなったと考えられる。

操作 - 判断ブロックにおける記銘・判断時間

操作・判断ブロックの記銘時間に関しては，初級群と中熟達群の間に差が見られたこと（Figure 3-18）以外は，記銘・判断ブロックの記銘時間の結果と同じであった。操作・判断ブロックでは，記銘後に操作を行う必要があるため，記銘・判断ブロックよりも課題が難しく，群間差がより顕在化しやすくなった可能性が考えられる。

操作・判断ブロックの判断時間では，群と操作回数の交互作用が有意で，操作方向に関わらず，操作回数 3 の時に，初級群に比べて，中熟達・高熟達群の判断時間が

速いことが示された(Figure 3-26)。操作回数 3 の時は、初級群は操作回数 1 の時に比べ、他の群よりもイメージ操作を安定して行えず、判断に際しては慎重にならざるを得なかったのかもしれない。そのため、操作回数 3 の時は、初級群と中熟達・高熟達群間に差が生じたと考えられる。実験 4 では生じなかった、上下操作の判断における群間差は、先述したような、課題の難易度が相対的に上昇した影響であると推察される。

一般，特殊機能における内実の更なる解明に向けて

これまで述べてきた実験 5 の結果を総合すると、少なくとも本実験の課題状況では、円パターン・イメージの操作における一般機能や特殊機能への依存の仕方は、上下・左右という方向に関わらず、同じであると考えられる。また円パターン・イメージの上下・左右操作は、初級群は一般機能に、中熟達、高熟達群では一般・特殊両機能に同等に依存すると考えられる。これらは、中熟達群においては、予想とは幾分異なるものの、円パターン・イメージの上下・左右操作は、ソロバンイメージ操作と同様に、一般、特殊両機能に依存するという仮説を概ね支持するものであったといえよう。また熟達度が高いほど課題成績が良いという、転移を示す結果は、高熟達者ほど一般、特殊両機能を駆使でき、円パターンのイメージ操作を上手に行えるために得られたと考えられる。

本実験の結果のうち、特に重要と考えられるのは、特殊機能の役割に関する示唆である。すなわち、操作正答率・操作時間におけるタッピングの干渉効果に関する分析結果は、円パターン・イメージの上下・左右操作にも特殊機能が関与するということを示していた(Figure 3-21, 3-23)。このことは、特殊機能は暗算に限定されたものではなく、イメージ上における円で構成されたパターンに対する操作、少なくとも上下・左右という方向

の違いを問わない直線的な操作に適用され得ることを示唆しており，特殊機能の内実の理解を，さらに一歩進めたものといえよう。

以上，実験 5 では，領域非特殊的な円パターン・イメージの上下・左右操作と，一般，特殊機能の関係性を示すことができたといえよう。それでは，その他の領域非特殊的なイメージ操作には，一般機能や特殊機能はどのように関与するのであるだろうか。

先述のように，特殊機能は暗算限定的なものではなく，イメージ上における，円で構成されたパターンの直線的操作にも適用されることが示唆されている。この適用範囲は，どれほどなのであるだろうか？例えば「対象」が円パターンである場合，「操作」が回転といった，直線的ではないものであったとしても特殊機能の関与が見られるのであるだろうか？それとも，適用範囲は直線操作に限られるのであるだろうか？さらに，「対象」が円パターンではなく，「操作」も直線的ではない場合にはどうであろうか？

一方，一般機能は，特殊機能とは異なり，特定の操作に限定されたものではない，いわゆる領域非特殊的な運動処理機能であると考えられる。そのため，基本的には，ソロバンイメージ操作との類似度に関わらず，領域非特殊的なイメージ操作には，一般機能が関与すると予想される。すなわち，「対象」の構成要素がどのようなものであろうが，「操作」が直線的あるいは回転であろうが，一般機能の関与が見られると予想される。こうしたことを検討することは，熟達に伴う，領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化を明らかにする上で不可欠と考えられる。

そこで，次の実験では，「対象」のみがソロバンイメージ操作と類似していると考えられるイメージ操作，および「対象」・「操作」とともに類似していないと考えられるイメージ操作と運動システムの関係性を検証していく。

具体的には，円パターンの心的回転，およびソロバンイメージでは使用されない，複数の三角形や四角形で構成された複合パターンの心的回転課題を用いた検討を行う。

第 3 節 領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性Ⅱ：領域特殊的なイメージ操作と類似度が低い場合（実験 6）

実験 6 では，「対象」はソロバンイメージと類似しているが「操作」は類似していないと考えられる円パターンの心的回転，および「対象」・「操作」とともに類似していないと考えられる複合パターンの心的回転に，一般機能や特殊機能がどのように関わっているのかを検証する。

これまでも繰り返し述べたように，ソロバン以外の領域非特殊的なイメージ操作には一般機能が関与し，ソロバンイメージ操作と「対象」や「操作」が類似している場合には，特殊機能も関与する可能性が高いと予想される。この予測が正しければ，これまでの実験において，一般，特殊両機能の活用が示されている中熟達群と高熟達群は，円パターンの心的回転では，一般，特殊両機能が関与し，複合パターンの心的回転では，一般機能のみが関与すると予想される。一方，初級群は，まだ特殊機能が活用されていないため，彼らが行う円・複合パターンの心的回転には，一般機能のみが関与すると予想される。また，これまでの実験から，熟達が進むにつれて，一般，特殊両機能を上手く使いこなせるようになると考えられるため，両パターンの心的回転に一般機能や特殊機能が関与しているとすれば，熟達度が高いほど，円・複合パターンの心的回転能力が向上しており，課題成績も良いと予測された。

これらの予測を検証するために，実験 6 では，暗算能力別に分けた珠算学習者に，円・複合パターンの心的回

転課題を，固定，非関連，関連の 3 条件で行わせ，条件間で課題成績を比較した。

上述の予想に基づく，中・高熟達群では，円パターンの心的回転には，一般，特殊両機能が関与し，複合パターンの心的回転には，一般機能のみが関与すると考えられる。そのため，彼らが行う円パターンの心的回転は，非関連・関連両タッピングによって干渉されるが，複合パターンの心的回転は，一般機能に干渉する非関連タッピングの干渉のみが生じると予測された。初級群に関しては，円・複合パターンの心的回転ともに一般機能のみが関与すると考えられる。特殊機能が活用されていない場合，非関連・関連両タッピングは，一般機能に干渉すると考えられるため，初級群が行う円・複合パターンの心的回転は，非関連・関連両タッピングの影響を受けると予測された。

また本実験においても，イメージ操作能力以外によって課題成績が良くなる可能性が考えられたため，実験 4 同様に，操作以外の能力を確認するための記銘・判断ブロックを行わせることとした。イメージ操作能力の差は，正答率だけでなく，心的回転時間においても検出される可能性があるため，実験 4 同様に，操作 - 判断ブロックは，操作や判断のフェーズごとに時間を計測するのが望ましい。つまり，操作フェーズでは操作すべき刺激のみを呈示し，判断フェーズでは比較刺激のみを呈示し，各々独立した操作時間，判断時間の計測を行うという手続きである。しかし，予備的な実験において，珠算学習者に対して，手指を固定した状態で，フェーズごとに分かれた心的回転課題を行わせたところ，円・複合パターンの心的回転の正答率が，それぞれ 60%，71%と，あまり高くないため，タッピングの干渉効果を検出できない可能性があった。そこで，本実験では，操作フェーズと判断フェーズを合併し，操作すべき刺激と比較刺激を同時

に呈示して，両者が正像か鏡像かを判断させる心的回転課題を行わせることとした。したがって，本実験では操作のみの時間を計測することはできず，操作と判断を合わせた時間になるため，それを操作・判断時間として扱うこととした。

方法

実験参加者

実験には，7級から2級までの初級群13名（男性5名，女性8名，平均年齢11.0歳，平均珠算経験33.1ヶ月），1級から3段までの中熟達群13名（男性4名，女性9名，平均年齢10.8歳，平均珠算経験51.7ヶ月），6段以上の高熟達群13名（男性6名，女性7名，平均年齢10.9歳，平均珠算経験57.6ヶ月），計39名が参加した。参加者は第2章第1節で述べた実験参加者候補のうち，同意を得られた珠算学習者であった。

刺激

7つの円によって構成される円パターンと，それぞれ2つの三角形と四角形を組み合わせで構成される複合パターンを2種類ずつ作成し（Figure 3-28），それらの鏡像も作成した。円パターンの刺激に関しては，ソロバンで見られる数の配置パターンとは異なるものに，複合パターンに関しては，各図形の1辺が，別の図形の1辺と接するものにするという制約を設けて作成された。操作・判断ブロックと記銘・判断ブロックで，同じ刺激が使用された。刺激の作成はExcel 2008（Microsoft社製）を用いて行われた。

実験装置

実験に関する装置は，全て実験5と同じであった。

手続き

操作・判断ブロック

実験は実験参加者が通う珠算塾で，参加者毎に個別に

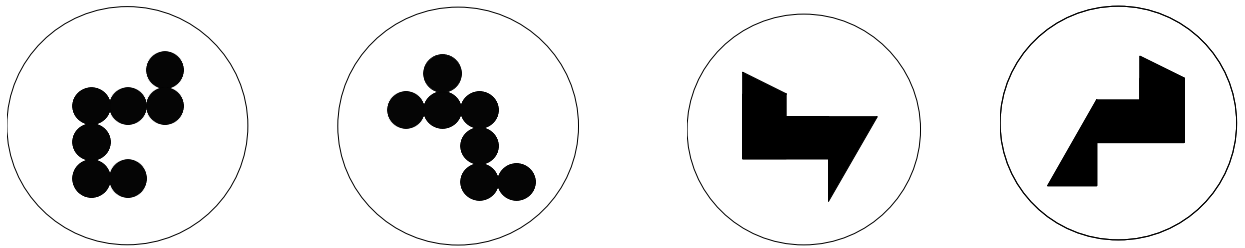


Figure 3-28 実験 6 で使用した刺激
左 2 つが円パターン，右 2 つが複合パターン。

実施された。参加者は、実験用のパソコンが置かれた机の前に座り、実験者から実験概要の説明を受けた。その後、音声スイッチ用のマイクが実験参加者の喉に取り付けられ、実験が開始された。

1 試行の流れは、Figure3-29 に示したとおりである。始めに注視点が現れ、実験者のキー操作でブランク画面に切り替わった。500ms 後、課題時の手の動きを教示する文が呈示され、固定条件では「灰色のはこをもってください」という文が呈示され、実験参加者は灰色のプラスチックケースを両手で持つように求められた。非関連・関連条件では課題と同時にタッピングを行うことを教示する「○（使用するタッピング装置に貼付されたシールと同色の小円）を使って下さい」という文が呈示され、実験参加者は指定された色のシールが貼ってあるタッピング装置に手を置くように求められた。実験者のキー操作でブランク画面に切り替わり、500ms 後、固定条件では「準備してください」、非関連・関連条件では「指を動かしてください」という教示文が 1500ms 呈示された。実験参加者は、固定条件では課題の準備をして待つように、非関連・関連条件ではタッピングを開始し、課題に答えるまでできるだけ速く正確に行うように求められた。ブランク画面が 500ms 続いた後、2 つの刺激が左右に並んだ状態で呈示された。左側の刺激は直立像、右側の刺激は、左側の刺激が平面上で特定の角度（100°, 180°, 260°）に傾いたものであった。参加者は、2 つの刺激の異同判断を、できるだけ速く正確に、左側に呈示された図形を心的に回転させた後に口答で行うように求められた。同じ場合は「同じ」、違う場合は「違う」と答えるように教示された。違う場合には、左側に呈示される図形の鏡像が右側に呈示されていた。刺激の呈示と同時に操作・判断時間のカウントが開始され、回答と同時に操作・判断時間の計測が終了した。以上が 1 試行の流れで

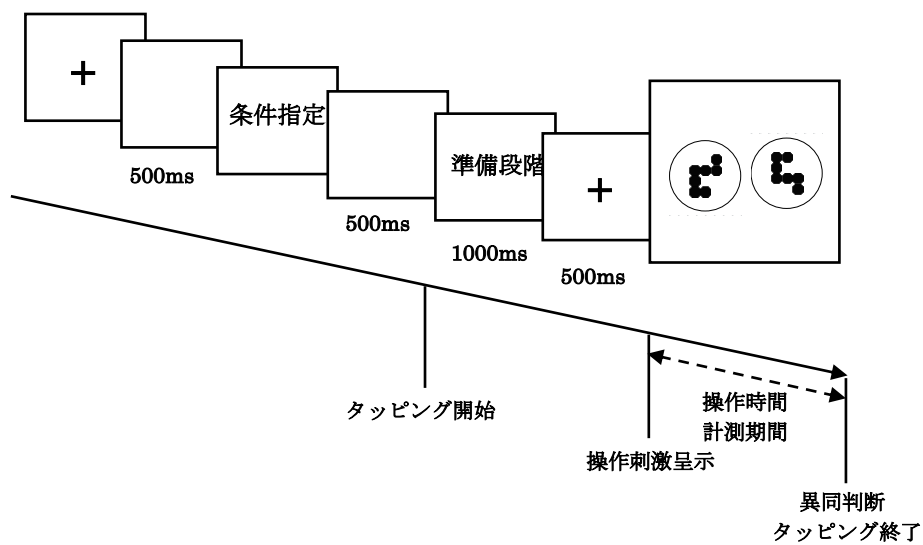


Figure 3-29 実験6の操作-判断ブロックの流れ

最初の注視点および条件指定に関しては実験者のキー操作で, 異同判断においては実験参加者の口頭反応により次の画面に進んだ。

ある。刺激はランダムに呈示された。実験参加者の回答は実験者が筆記した。

記銘 - 判断ブロック

手の動きを教示する文の呈示までは操作・判断ブロックと同じであった（Figure 3-30）。その後，注視点が1500ms呈示され，ブランク画面が1000ms続いたのち，記銘用の刺激が1つ呈示された。それと同時に記銘時間のカウントが開始された。実験参加者は呈示された刺激をできるだけ速く正確に記憶し，「はい」と口頭で回答するように求められた。実験参加者が回答すると，彼らの喉に取り付けられたマイクが声を感知し，記銘時間の計測が終了した。回答すると画面が切り替わり，実験4と同様のランダムドットパターンが呈示された。実験参加者はそれを見続けるように教示された。3秒後，画面が切り替わり，刺激が呈示された。実験参加者は，それと保持している刺激に関する異同判断をできるだけ速く正確に口頭で行うように求められた。同じ場合は「同じ」，違う場合は「違う」と答えるように教示された。違う場合には，記銘刺激の鏡像が呈示されていた。刺激の呈示と同時に判断時間のカウントが開始され，回答と同時に判断時間の計測が終了した。以上が1試行の流れである。刺激はランダムに呈示された。実験参加者の回答は実験者が筆記した。また，本実験においても，タッピングベースライン試行が実施された。

実験は練習試行（6試行），タッピングベースライン1（2試行），記銘・判断ブロック1（12試行），操作・判断ブロック1（36試行），タッピングベースライン2（2試行），記銘・判断ブロック2（12試行），操作・判断ブロック2（36試行），タッピングベースライン3（2試行）という順序で，参加者の負担を考慮して各操作・判断ブロックの後に休憩を挟みながら行われた。練習試行は各条件（固定，非関連，関連）2試行ずつ（各パターン1

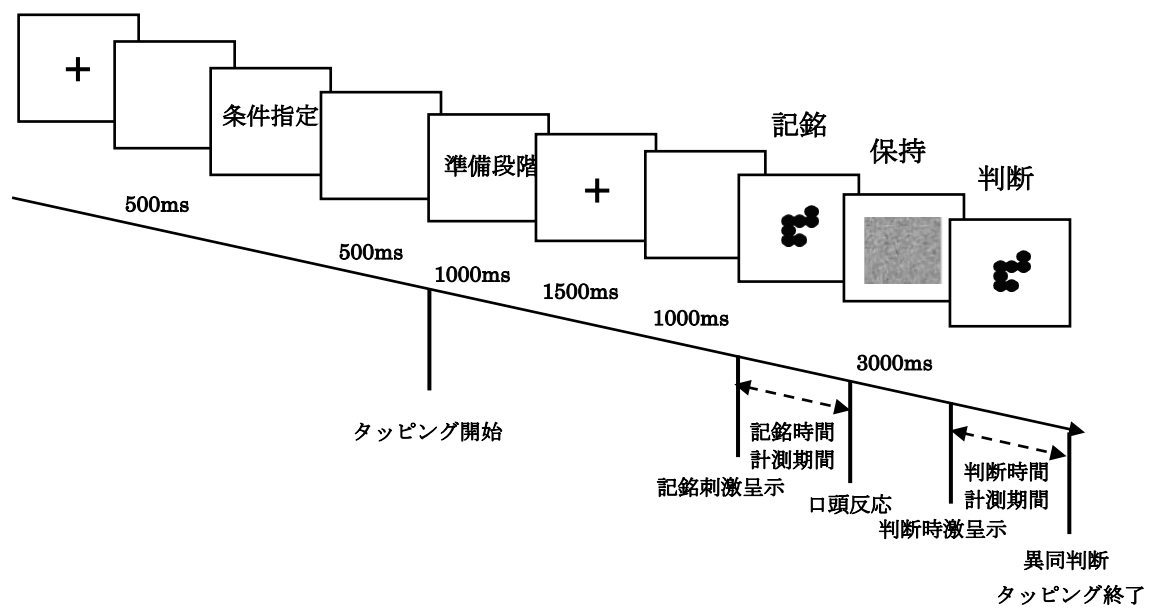


Figure 3-30 実験 6 の記銘-判断ブロックの流れ

最初の注視点および条件指定に関しては実験者のキー操作で、記銘、異同判断においては実験参加者の口頭反応により次の画面に進んだ。

試行ずつ)であった。操作-判断ブロックは、1ブロック36試行、そのうち各条件は12試行(円・複合パターン6試行ずつ、一致・不一致は各パターンで3試行ずつ)で、それぞれの条件には、各回転角度(100° , 180° , 260°)が4試行ずつ含まれていた。全2ブロック、計72試行であった。記銘-判断ブロックは、1ブロック12試行、各条件4試行ずつ(各パターン2試行ずつ、一致・不一致1試行ずつ)、全2ブロック、計24試行であった。

結果

タッピングベースラインの分析

タッピングベースラインに関しては、群(初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達; 被験者間)と手の動き(非関連 vs. 関連; 被験者内)を要因とする2要因混合分散分析を行った。その結果、主効果および交互作用は全て有意ではなかった(all F s < 1, p s > .05) (Table 3-16)。

記銘-判断ブロックの分析 1: 記銘時間

記銘-判断ブロックでは、群(初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達; 被験者間)と手の動き(固定 vs. 非関連 vs. 関連; 被験者内)と刺激(円 vs. 複合; 被験者内)を要因とする3要因混合分散分析を行った。記銘時間に関しては手の動きの主効果が有意($F(2, 74) = 3.710$, $p < .05$)であり、多重比較の結果、固定と関連条件間に有意差が見られ($t(72) = 2.711$, $p < .01$)、固定と非関連($t(72) = 1.124$, $n.s.$)、非関連と関連条件間($t(72) = 1.587$, $n.s.$)には有意差は見られなかった(Figure 3-31)。その他の主効果および全ての交互作用は有意ではなかった(all F s < 1.9, p s > .05) (Table 3-17)。

記銘-判断ブロックの分析 2: 記銘正答率・判断時間

記銘-判断ブロックの記銘正答率、判断時間に関して

Table 3-16 タッピングベースライン試行における 1 秒当たりの
平均タッピング回数（括弧内は標準偏差）（実験 6）

群	非関連	関連
初級	1.7 (0.3)	1.7 (0.4)
中熟達	2.0 (0.7)	1.9 (0.8)
高熟達	2.1 (0.9)	2.0 (0.9)

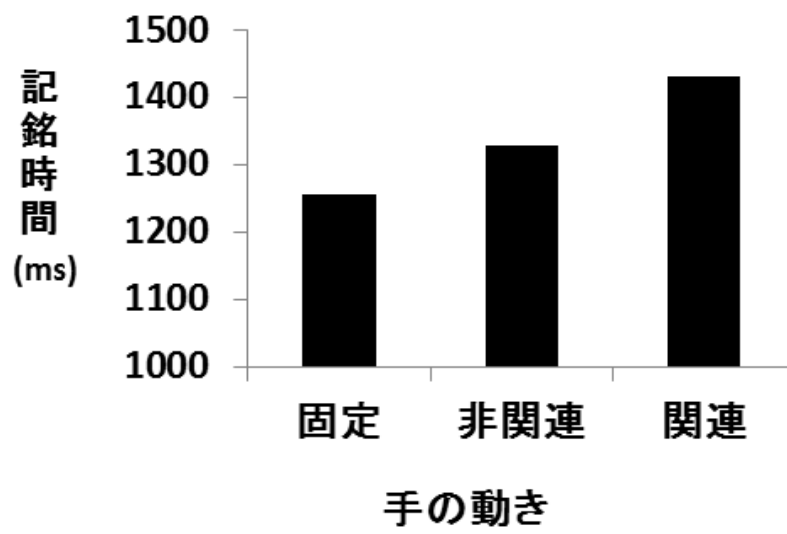


Figure 3-31 記録-判断ブロックにおける各手の動きの記録時間（実験 6）

Table 3-17 記銘-判断ブロックにおける平均記銘時間，平均判断時間，平均記銘正答率（括弧内は標準偏差）（実験 6）

記銘時間 (ms)						
	固定		非関連		関連	
	円	複合	円	複合	円	複合
初級	1312 (528)	1218 (354)	1528 (611)	1437 (543)	1764 (969)	1502 (676)
中熟達	1341 (587)	1532 (954)	1321 (541)	1428 (584)	1457 (415)	1430 (627)
高熟達	1033 (350)	1101 (436)	1096 (361)	1165 (380)	1227 (446)	1212 (422)

判断時間 (ms)						
	固定		非関連		関連	
	円	複合	円	複合	円	複合
初級	1235 (598)	1238 (495)	1325 (693)	1137 (297)	1069 (263)	1080 (407)
中熟達	1055 (165)	1009 (189)	1000 (231)	1081 (424)	1010 (268)	1090 (339)
高熟達	995 (259)	921 (186)	901 (162)	1056 (224)	1010 (342)	946 (205)

記銘正答率 (%)						
	固定		非関連		関連	
	円	複合	円	複合	円	複合
初級	96.2 (9.0)	94.2 (10.5)	100 (0.0)	92.3 (11.5)	96.2 (13.3)	96.2 (9.0)
中熟達	90.4 (18.4)	90.4 (15.6)	90.4 (15.6)	92.3 (11.5)	94.2 (10.5)	100 (0.0)
高熟達	98.1 (6.7)	98.1 (6.7)	100 (0.0)	100 (0.0)	98.1 (6.7)	98.1 (6.7)

も記銘時間と同様の分散分析を行った結果，全ての主効果，交互作用は有意ではなかった（all $Fs < 3.2$, $ps > .05$ ）（Table 3-17）。

操作・判断ブロックの分析 1：操作正答率

操作・判断ブロックでは，群（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達；被験者間）と手の動き（固定 vs. 非関連 vs. 関連；被験者内）と角度（ 100° vs. 180° vs. 260° ；被験者内）と刺激（円 vs. 複合；被験者内）を要因とする 4 要因混合分散分析を行った。操作正答率に関しては，群（ $F(2,36) = 4.380$, $p < .05$ ），角度（ $F(2,72) = 5.353$, $p < .01$ ）の主効果が有意であった。群に関して多重比較を行ったところ，初級群と高熟達群間（ $t(36) = 2.826$, $p < .01$ ）に有意差が見られ，初級群と中熟達群（ $t(36) = 2.174$, $n.s.$ ），中熟達群と高熟達群間（ $t(36) = 0.652$, $n.s.$ ）には有意差は見られなかった（Figure 3-32）。角度に関しても多重比較を行った結果， 100° と 180° （ $t(72) = 2.940$, $p < .005$ ）， 180° と 260° （ $t(72) = 2.714$, $p < .01$ ）の間に有意差が見られ， 100° と 260° の間には有意差はなかった（ $t(72) = 0.226$, $n.s.$ ）（Figure 3-33）。手の動き，刺激の主効果，および全ての交互作用は有意ではなかった（all $Fs < 3.0$, $ps > .05$ ）（Table 3-18）。

操作・判断ブロックの分析 2：操作・判断時間

操作・判断時間に関しても同様の 4 要因混合分散分析を行ったところ，手の動きと刺激の交互作用が有意で（ $F(2,72) = 3.997$, $p < .05$ ），単純主効果検定の結果，関連条件は有意であったが（ $F(1,108) = 6.892$, $p < .01$ ），固定条件（ $F(1,108) = 1.588$, $n.s.$ ），非関連条件（ $F(1,108) = 0.131$, $n.s.$ ）は有意ではなかった（Figure 3-34）。また円パターン（ $F(2,108) = 1.561$, $n.s.$ ），および複合パターン（ $F(2,108) = 1.798$, $n.s.$ ）の単純主効果も有意

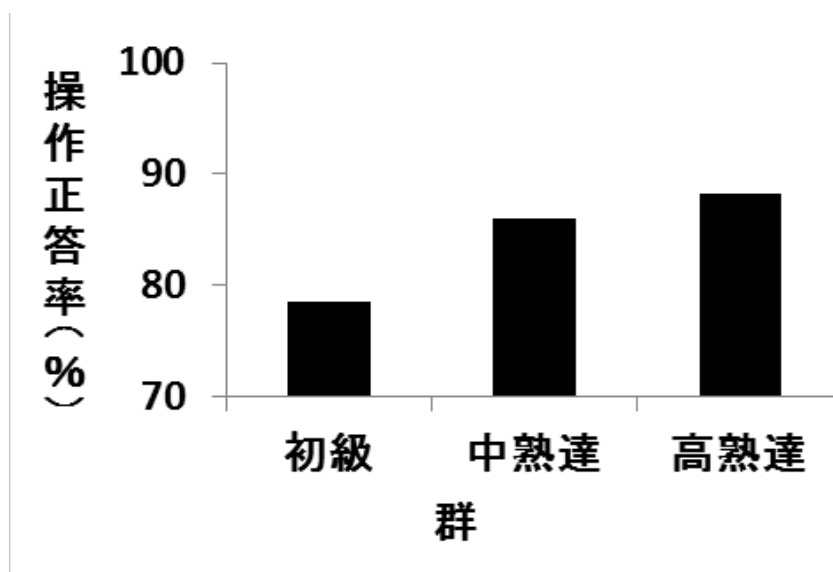


Figure 3-32 操作-判断ブロックにおける各群の操作正答率 (実験 6)

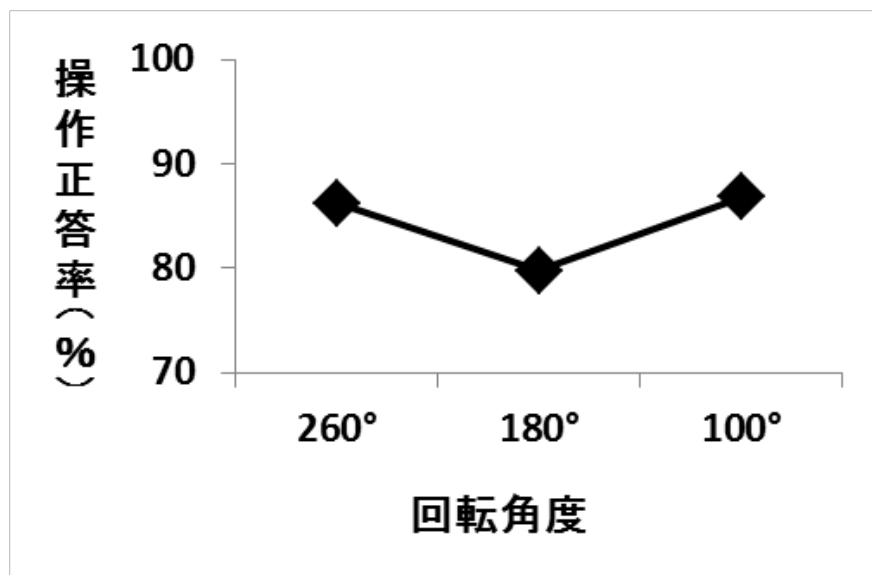


Figure 3-33 操作-判断ブロックにおける各回転角度の操作正答率（実験 6）

Table 3-18 操作-判断ブロックにおける平均操作正答率（括弧内は標準偏差）（実験 6）

固定 (%)						
	円			複合		
	100°	180°	260°	100°	180°	260°
初級	78.8 (19.2)	67.3 (24.8)	86.5 (18.6)	84.6 (20.9)	78.8 (19.2)	78.8 (16.5)
中熟達	86.5 (15.9)	84.6 (18.4)	86.5 (18.6)	86.5 (15.9)	84.6 (15.6)	92.3 (15.1)
高熟達	90.4 (15.6)	84.6 (18.4)	92.3 (15.1)	88.0 (12.5)	78.8 (19.2)	90.4 (15.6)
非関連 (%)						
	円			複合		
	100°	180°	260°	100°	180°	260°
初級	80.8 (20.0)	65.4 (23.1)	75.0 (25.9)	78.8 (25.7)	78.8 (21.6)	73.1 (26.8)
中熟達	78.8 (19.2)	78.8 (19.2)	92.3 (15.1)	80.8 (17.4)	88.5 (12.5)	90.4 (15.6)
高熟達	90.4 (12.2)	80.8 (17.4)	90.4 (15.6)	88.5 (12.5)	80.8 (17.4)	90.4 (12.2)
関連 (%)						
	円			複合		
	100°	180°	260°	100°	180°	260°
初級	84.6 (18.4)	73.1 (26.8)	76.9 (26.8)	90.4 (15.6)	82.7 (22.8)	78.8 (19.2)
中熟達	84.6 (23.1)	80.8 (20.0)	94.2 (10.5)	86.5 (21.1)	80.8 (20.0)	90.4 (18.4)
高熟達	98.1 (6.7)	84.6 (15.6)	88.5 (23.2)	94.2 (14.4)	82.7 (22.8)	94.2 (14.4)

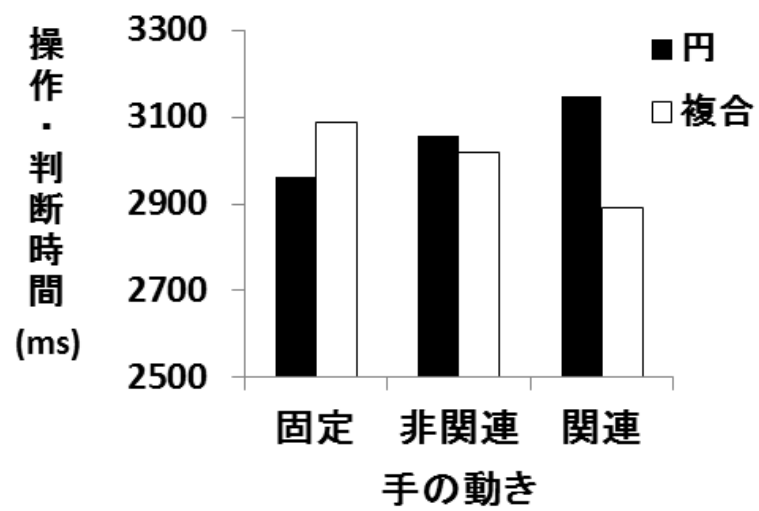


Figure 3-34 操作・判断ブロックにおける各刺激と各手の動きの操作・判断時間（実験 6）

ではなかった。ただし，Figure 3-34 からは，円パターンの心的回転は，固定，非関連，関連の順に，操作・判断時間が増加し，複合パターンの心的回転は，非関連の方が関連よりも相対的に操作・判断時間が長いことが見受けられる。これは，円パターンの心的回転には両タッピングの干渉が生じ，その程度は関連タッピングの方が相対的に大きく，一方，複合パターンについては，関連タッピングよりも，非関連タッピングの干渉効果の方が大きいことを示唆するような反応パターンである。

群の主効果も有意 ($F(2,36) = 4.175, p < .05$) で，多重比較の結果，初級群と高熟達群間 ($t(36) = 2.834, p < .01$) に有意差が見られ，初級群と中熟達群 ($t(36) = 1.906, n.s.$)，中熟達群と高熟達群間 ($t(36) = 0.928, n.s.$) には有意差は見られなかった (Figure 3-35)。角度の主効果も有意 ($F(2,72) = 2.908, p < .01$) で，多重比較の結果， 180° と 260° ($t(72) = 2.908, p < .005$) の間に有意差が見られ， 100° と 180° ($t(72) = 0.953, n.s.$)， 100° と 260° ($t(72) = 1.955, n.s.$) の間には有意差は見られなかった (Figure 3-36)。手の動きと刺激以外の交互作用，手の動き，刺激の主効果は全て有意ではなかった (all $Fs < 1.5, ps > .05$) (Table 3-19)。

考察

実験 6 では，ソロバンイメージにおける直線性の操作とは別種の，回転というイメージ操作と運動システムの関係性が，暗算技能の熟達とともにどのように変化するかを検証した。具体的には，暗算能力に基づき，珠算学習者を初級，中熟達，高熟達の 3 群に分け，円・複合パターンの心的回転を，固定，非関連，関連の 3 条件で行わせ，条件間で課題成績を比較した。

領域非特殊的なイメージ操作である心的回転には，基本的には一般機能が関与すると期待され，ソロバンパター

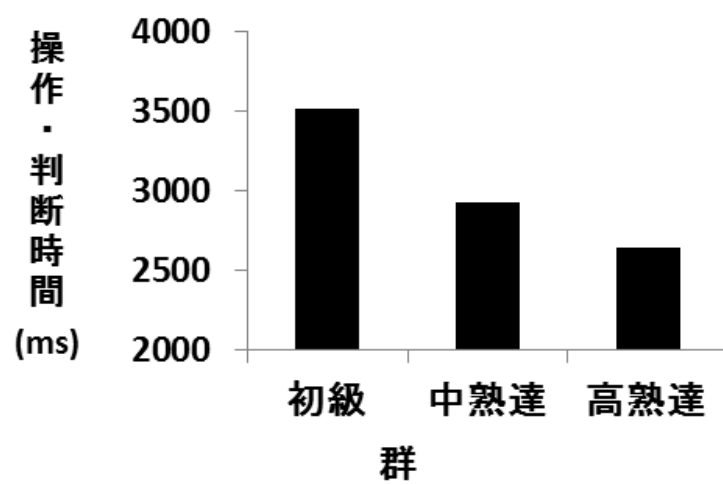


Figure 3-35 操作-判断ブロックにおける各群の操作・判断時間（実験 6）

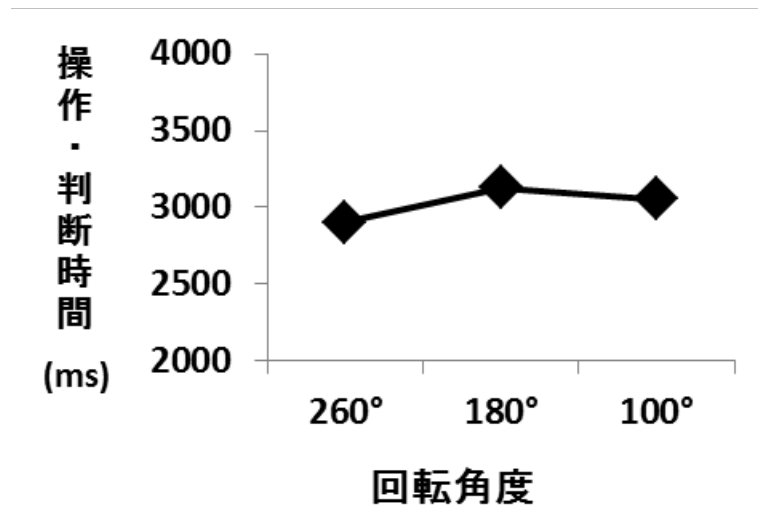


Figure 3-36 操作-判断ブロックにおける各回転角度の操作・判断時間（実験 6）

Table 3-19 操作・判断ブロックにおける平均操作時間（括弧内は標準偏差）（実験 6）

固定 (ms)						
	円			複合		
	100°	180°	260°	100°	180°	260°
初級	3497 (958)	3646 (1778)	3456 (1431)	3645 (994)	3902 (1769)	3514 (833)
中熟達	2850 (831)	2814 (888)	2718 (1008)	3495 (2320)	2757 (607)	2745 (741)
高熟達	2553 (679)	2733 (866)	2396 (458)	2460 (822)	2573 (579)	2683 (953)
非関連 (ms)						
	円			複合		
	100°	180°	260°	100°	180°	260°
初級	3820 (1588)	3492 (1180)	3445 (1069)	3338 (839)	3791 (1372)	3285 (1540)
中熟達	3124 (1484)	3015 (1260)	2561 (608)	3117 (1193)	3059 (965)	2877 (1226)
高熟達	2709 (839)	2980 (940)	2353 (569)	2490 (524)	2805 (922)	2418 (621)
関連 (ms)						
	円			複合		
	100°	180°	260°	100°	180°	260°
初級	3600 (1166)	3433 (978)	3740 (1862)	3092 (522)	3132 (817)	3294 (1087)
中熟達	2817 (766)	3333 (1646)	3948 (1534)	3065 (1335)	2859 (731)	2541 (608)
高熟達	2752 (732)	3016 (1098)	2630 (723)	2461 (554)	2906 (733)	2667 (746)

ンとは類似していない複合パターンの場合には、特にそうであろうと考えられる。ただし、円パターンの場合には、回転操作の「対象」がソロバンイメージと類似しているため、特殊機能も関与するかもしれない。こうした予測が妥当ならば、前節の実験 5 で円パターンのイメージ操作において、一般、特殊両機能を活用していることが示唆されている、中熟達、高熟達群は、円パターンの心的回転は両機能に依存するかもしれず、複合パターンの心的回転は一般機能にのみ依存して行われると考えられる。もしそうならば、彼らが行う円パターンの心的回転は、非関連・関連両タッピングの影響を受け、複合パターンの心的回転は、非関連タッピングの影響のみを受けると予測される。初級群に関しては、特殊機能を活用できていないことが前節でも示されており、彼らは一般機能に依存して円・複合両パターンの心的回転を行うと考えられる。特殊機能が活用されていない場合には、非関連・関連タッピングとも一般機能に干渉すると予想されるため、初級群については、円・複合パターンの心的回転ともに、両タッピングの影響を受けると予測された。

また、これまでの実験結果から、熟達度が高いほど、一般、特殊両機能を使いこなすことができることが示されてきた。このことが心的回転にも当てはまるなら、高熟達者ほど両パターンの心的回転能力が向上しており、課題成績が良いと予測された。

これらの予測に対して、実験 6 で示されたことを以下の順に述べていく。まず、タッピングベースラインの結果について述べる。各群におけるタッピング能力や、各タッピングの難易度が異なる場合、結果の解釈に配慮が必要になるからである。次に、記銘 - 判断ブロックの結果について述べる。操作以外の能力に差がある場合、操作課題成績の解釈に際して、配慮を要するからである。その後、操作課題成績について述べ、最後に円・複合パ

ターンの心的回転に対する，タッピングの干渉効果について記述していく。

タッピング能力およびタッピングの難易度

タッピングベースライン試行に関する分析では，群や手の動きに関して，有意差は生じていなかった（Table 3-16）。この結果は，両タッピングの難易度には差がなく，さらに両タッピング能力は熟達度による違いがないことを示唆するものである。したがって，本実験でも，タッピングの干渉効果の解釈に際しては，特別な配慮を行う必要はないと考えられる。

記銘-判断ブロックに関する結果

記銘-判断ブロックでは，記銘時間において，手の動きの主効果が有意で，固定と関連条件間にのみ有意差が見られ（Figure 3-31），関連タッピングの干渉効果が示された。また，固定と非関連条件間の差はないものの，非関連と関連条件間にも差がないことから，関連タッピングほどではないが，非関連タッピングの干渉効果も生じていた可能性が考えられる。これは，円・複合パターンの記銘には，実験 5 と同様に，運動システムが関与することを示すものと考えられる。ただし，記銘に対するタッピングの干渉パターンは，両タッピングの干渉が同等に生じた実験 5 とは異なっていた。現時点では，詳細な理由は分からないが，もしかすると，記銘する刺激の違い，例えば，刺激を囲むマトリックスの有無などが，影響を及ぼしたのかもしれない。

群に関しては，記銘時間，判断時間，記銘正答率のいずれも全ての条件間で差が見られず（Table 3-17），円・複合パターンの記銘に関しては，群間に差がないことが示された。実験 5 とは異なり，記銘時間や判断時間に群間差が生じなかった理由として，記銘する刺激の違いが

考えられる。実験 6 の刺激は、実験 5 の刺激と比べると、円の数が多かったり、ソロバンとは関連のない図形で構成されていたりするため、課題を正確に行うには、より慎重になる必要があり、そのため、群間で差が生じにくくなったのかもしれない。刺激に関しても全ての指標において差がないことから (Table 3-17)、両刺激の難易度についても差がないと考えられる。

操作課題成績

操作・判断ブロックの操作・判断時間では、群の主効果が有意で、初級群と高熟達群間に有意差が見られた (Figure 3-35)。先述の記銘・判断ブロックでは、判断時間に群間差が生じていなかったことを考慮すると、操作・判断ブロックにおける操作・判断時間の差は、各群の操作時間の差によって生じたと見なすのが妥当と思われる。操作正答率においても群の主効果が有意で、初級群と高熟達群間に有意差が見られた (Figure 3-32)。記銘・判断ブロックにおいて、記銘の正確性に群間で差がないことが確認されており、操作・判断ブロックでの操作正答率の差は、熟達度によるイメージ操作能力の差によって生じたと考えられる。

また、操作・判断時間、操作正答率ともに、回転角度の主効果が有意で、最も角度が大きい 180 度の成績が、最も低いことが示された (Figure 3-33, 3-36)。これは第 1 章で述べたように、心的回転の研究において、広く知られた結果であり、参加者が心的に刺激を回転していたことを示唆する。

以上の結果を総合すると、熟達度が高いほど、円・複合パターンの心的回転を、より速く正確に行うことができると考えられる。このことは、珠算技能の熟達に伴い、「対象」のみが類似し「操作」は類似していないと考えられるイメージ操作、および「対象」・「操作」とともに類

似していないと考えられるイメージ操作にも，能力の転移が生じることを示唆するものであった。少なくとも筆者の知る限り，特定のイメージ操作に熟達していくと，「対象」・「操作」とともに類似していないと考えられるイメージ操作にまで能力の転移が及ぶことを示したのは，本研究が初めてである。

このようなイメージ操作能力の転移は，実験 5 において，一般機能や特殊機能を駆使できるようになることで生じることが指摘されている。それを踏まえると，本実験で示されたイメージ操作能力の転移にも，一般機能や特殊機能の働きが，密接に関わっているのかもしれない。

円パターンおよび複合パターンの心的回転における一般，特殊機能の関与

操作・判断時間および操作正答率における結果

操作・判断ブロックの操作・判断時間に関しては，刺激と手の動きの交互作用が有意であった（Figure 3-34）。単純主効果検定の結果，関連条件において，円パターンの操作・判断時間が，複合パターンの操作・判断時間よりも有意に長くなっていた。しかし，固定条件，非関連条件では単純効果は有意とならず，これら 2 条件では，操作・判断時間には，刺激における違いがなかった。固定条件に差がないということは，刺激の難易度には差がないことを示している。したがって，関連条件での，刺激による操作・判断時間の違いは，少なくとも，難易度以外の要因によって生じたものと考えられる。また，円パターンおよび複合パターンにおける単純主効果も有意ではなかった。すなわち，円・複合パターンの心的回転は，非関連・関連タッピングの影響を受けることが，統計的には示されなかった。

操作正答率の分析では，手の動きに関して，有意差は

検出されなかった（Table 3-18）。この結果も，円・複
合パターンの心的回転が，非関連・関連タッピングの影
響を受けることを，統計的には示していない。

以上に述べた，操作・判断ブロックにおける操作・判
断時間および操作正答率の結果は，当初の予測とは異な
り，円・複合パターンの心的回転に，タッピングの干渉
効果が生じることが統計的に示さなかった。これは，一
見すると，珠算学習者が行う円・複合パターンの心的回
転には，一般機能や特殊機能が関与しないことを示唆し
ているように思われる。ただし，先に述べたように，本
実験では，暗算能力が円・複合パターンの心的回転にも
転移することが示されており，さらに，実験 5 において，
イメージ操作能力の転移は，一般機能や特殊機能の活用
に優れることで生じることが指摘されている。これらを
踏まえると，本実験で行われた円・複合パターンの心的
回転にも，一般機能や特殊機能が関与していたと考える
ことは，それほど無理のないことと思われる。もしそう
ならば，本実験で得られた，操作・判断時間や操作正答
率の結果は，どのように捉えたらよいであろうか。

一般機能および特殊機能が関与する可能性

前述のように，関連条件での刺激の違いによる操作・
判断時間の差は，刺激の難易度以外の要因により生じて
いることが示唆されている。また記銘・判断ブロックで
は，判断時間にはタッピングの影響が生じないことが示
されている。したがって，データが直接的に示している
わけではないが，関連条件での各刺激における操作・判
断時間の違いは，関連タッピングが円パターンの異同判
断に対してではなく，心的回転に対してより大きく干渉
したために生じたと解釈するのが最も妥当に思われる。

以下では，円・複合パターンの心的回転に，一般機能
や特殊機能が関与していたという観点から，操作・判断

時間の結果に見られた，関連条件における有意差（Figure 3-34）の解釈を試みる。ここで注目したいのは，Figure 3-34 における操作・判断時間のパターンである。有意差は生じていないため強い主張はできないが，操作・判断時間の結果のグラフからは，円パターンの心的回転は，固定，非関連，関連の順に，操作・判断時間が増加している。これは，円パターンの心的回転に対して両タッピングの干渉は生じるが，相対的に関連タッピングの干渉効果の方が大きいことを示唆する結果である。一方，複合パターンの結果を見ると，円パターンと異なり，非関連の方が関連よりも相対的に操作・判断時間が長くなっている。このことは，複合パターンに対しては，非関連タッピングの干渉効果の方が，関連タッピングの干渉効果よりも相対的に大きいことを示唆する。

これらのことを総合すると，円パターンの心的回転は，一般よりも特殊機能に相対的に多く依拠しており，逆に複合パターンの心的回転は，特殊よりも一般機能に，より多くを負っていることを示しているように思える。操作・判断時間に関して，刺激×手の動きの交互作用のみが得られ，群×刺激×手の動きの交互作用が得られなかったのは，どの群も基本的には Figure 3-34 と同じ反応パターンを示していたからであろう。つまり，熟達度に関わらず，円パターンの心的回転は，一般よりも特殊機能に，逆に複合パターンは，特殊よりも一般機能に，より多くを負っていたと考えられる。これは，おそらく，これまでの直線的な操作とは違い，要求されたのが回転というソロバン学習の中では遭遇しないイメージ操作であったため，群毎の違いが生じなかったと思われる。また，円パターンの心的回転の方が，特殊機能への依存度が相対的に高いのは，「対象」の類似度が，複合パターンよりも相対的に高いためと考えられる。

操作正答率に関しても，上述したような干渉効果が生

じていたと考えられるが，操作・判断時間ほどには干渉に鋭敏ではないため，関連条件における刺激の正答率の違いが検出されなかったと推察される。

一般機能および特殊機能の内実に関して

以上の実験結果を総合すると，少なくとも本実験では，珠算技能の熟達に伴い，その能力が「対象」のみが類似および「対象」・「操作」とともに類似していないと考えられるイメージ操作にまで，転移することが示されたといえよう。

また実験 5 において，転移には一般，特殊両機能の働きが密接に関与することが指摘されていることを踏まえると，円・複合パターンの心的回転にも，一般機能や特殊機能が関与していた可能性は否定できない。こうした解釈と，熟達度が高いほど，円・複合パターンの心的回転課題成績が良かったことを総合すると，高熟達者ほど両機能を駆使できるために，心的回転能力が向上していたのかもしれない。

ここまで一般，特殊という 2 つの運動機能を想定して結果の解釈を進めてきたが，別の解釈の可能性は考えられないだろうか。例えば，一般，特殊という機能の区分は存在せず，イメージ操作に関わる単一の機能が運動システム内に存在しており，熟達に伴い，その機能が全般的に向上していくというものである。この場合，熟達と共に機能が全般的に高まるため，高熟達者ほど円・複合パターンの心的回転も上手く行えるようになるという解釈は成立する。しかし，このような単一の機能を想定する場合，イメージ操作には，その機能のみが使用され，タッピングはその機能のみに干渉すると考えられる。すなわち，イメージ操作の種類に関わらず，タッピングの干渉効果は同じように生じると予想される。したがって，本実験で示されたような刺激の種類による関連タッピン

グの干渉効果の違いを説明できない。その他の解釈として、運動システム内には、一般、特殊という機能があるのではなく、様々な運動ごとに機能が存在し、熟達に伴い、それらが全般的に高まっていくというものはどうだろうか。この場合、熟達に伴い、回転運動に関わる機能も高まると予想されるため、高熟達者ほど心的回転課題成績が良いことは説明がつく。しかし、そのような機能を想定する場合、心的回転を行う際には、刺激の種類に関わらず、その機能が同様に使用されると考えられるため、本実験で用いたようなタッピングにより干渉されるとしても、刺激の種類による干渉効果の違いは生じないはずである。したがって、本実験で示されたような、刺激の種類による関連タッピングの選択的干渉を説明できない。

以上のことから、少なくとも現段階では、一般、特殊という2つの運動機能を想定した解釈を行うのが最も妥当に思われる。それでは、一般、特殊両機能が関与しているのであれば、なぜ、実験6において、それらを選択的に干渉する非関連・関連タッピングの干渉効果が統計的に示されなかったのであろうか。1つの可能性として、課題の難易度の影響が考えられる。すなわち、実験6において天井効果、あるいは床効果が生じていたため、タッピングの干渉効果が適切に検出されなかったというものである。本実験の固定条件の正答率は全体で84.5%であった。これは、両タッピングの有意な干渉効果が示された実験5の固定条件の正答率(89.4%)と比較すると、やや低い値ではあるが、床効果を想定するほどではない。したがって、実験6では、課題の難易度の影響によりタッピングの干渉効果が検出されなかったとは考えにくい。課題の難易度の影響ではないとすれば、他にどのような要因が考えられるだろうか。1つの可能性として、心的な「操作」と外的な「運動」とで、動きの種類が異なっ

ていたことが考えられるかもしれない。このことを，これまでに行った実験と比較して考えてみたい。

ソロバンイメージ操作は，基本的に上下方向への「直線」操作であり，実験 5 までの課題では，イメージの操作も上下あるいは左右方向への「直線」操作であった。すなわち，心的な「操作」と，外的な「運動」，すなわちタッピングとでは，「直線」ということで動きは同じであった。このような場合，実験 1～3 や実験 5 で示されたように，非関連・関連タッピングの干渉効果が生じていた。

一方，実験 6 で行った操作は，心的「回転」であり，「直線的」な運動を行うタッピングとは，動きの種類が異なっていた。このような操作の場合は，実験 6 で示されたように，統計的に有意なタッピングの干渉効果は検出されなかった。

整理すると，イメージ上で「直線的」な操作を行う場合には，非関連・関連タッピングの干渉効果が生じており，「回転」操作を行う場合には，そうした効果は検出されなかったということである。このように，心的な「操作」と外的な「運動」とで，動きの種類が異なる場合に，タッピングの影響が異なるという可能性が考えられる。もしかすると，一般機能や特殊機能では，「回転」や「直線」といった運動ごとに，使われる領域が細分化されているのかもしれない。そのため，「回転」操作を行う場合は，「回転」領域が使われるので，「直線」領域に干渉すると考えられるタッピングには，それほど大きな影響を受けないのではないだろうか。一方で，心的な操作が「直線」の場合は，タッピングと同じ領域を使うことになるので，より大きな干渉が生じると推察される。

これまでの議論では，イメージ操作と運動システムの関係性を明らかにするために，一般機能と特殊機能という 2 つの機能の大まかな違いだけを想定してきた。しか

し、実験 6 の結果も踏まえると、心的な「操作」と外的な「運動」の種類の違いということも考慮しつつ、研究を進めていく必要があるのではないかと考えられる。このように、実験 6 の結果は、必ずしも予測通りではないが、イメージ操作と運動システムの関係性をより精緻に捉える上で重要な示唆を含むものであったと考えられる。ただし、上述した可能性は、十分に検証が行われている訳ではないので、今後、妥当性を確かめるための検討が必要である。

第 4 節 第 3 章の総括

以上の実験 4～6 の結果を整理すると、まず、珠算技能の熟達に伴い、イメージ操作能力が転移することが、一貫して示された。ソロバンイメージ操作との類似度に関わらず、熟達度が高いほど、イメージ操作能力が高いということである。また、その背後では、領域特殊のおよび非特殊な運動処理機能を上手く活用できるようになっていることも示された。このように実験 4～6 の結果は、珠算技能の熟達に伴うイメージ操作能力の転移の範囲、および、そのメカニズムの一端を示すものであったといえよう。

また、一般機能や特殊機能における内実の解明も、ある程度進んだのではないかと推察される。実験 1～3 では、特殊機能は、暗算に特殊化されたものであると考えられていた。しかし、実験 5 では、特殊機能は円パターン・イメージの上下・左右操作にも関与することが示された。このことは、少なくとも、イメージ上における円で構成された直線的操作にも、特殊機能の適用範囲が及んでいることを示唆する。さらに、実験 6 では、統計的に有意な結果としては示されなかったが、これまでの実験結果等を踏まえると、イメージ上において、ソロバンイメージでは使用されない図形で構成されている対象の

回転操作にも，特殊機能が関与する可能性が示されている。このことは，特殊機能が極めて高い柔軟性を有していることを示唆するものであった。

また，実験 6 において，一般機能や特殊機能は，「回転」や「直線」といった運動の種類により，使われる領域が細分化されている可能性が指摘された。このことは，各機能の構造に関して示唆を与えるものである。ただし，この可能性は，まだ十分な検証が行われているものではないので，今後，更なる検討を行い，その妥当性を確認する必要があるであろう。

以上のように，実験 4～6 では，珠算技能の熟達に伴う領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化，および特殊機能や一般機能の内実の解明につながる結果が得られたと考えられる。

第4章 総合考察

第1節 結果のまとめ

本研究の目的は、イメージを必要とする認知技能の熟達に伴い、領域特殊のおよび非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性が如何に変化するのかを解明することであった。この目的を達成するため、複数の技能レベルの珠算学習者（初級群，中熟達群，高熟達群）を対象に，珠算技能の熟達に伴う，領域特殊のおよび非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性の変化について検討を行った。

珠算学習者が暗算を行う際に用いるソロバンイメージ操作には，実際のソロバン珠を弾くような指の動きである，ソロバン指運動が密接に関与しており（冷水，1997），ソロバン技能が高度に熟達していくと，その運動が内化していくことが示唆されている（Hanakawa et al., 2003）。このように，ソロバンイメージ操作には，心的回転等の一般的なイメージ操作と同様に，運動システムが密接に関与することが示されてはいるが，熟達度の違いにより，両者の関係性がどのように変化していくのかについては，これまでに明らかにされていない。

この問題について，イメージに関する分野では，直接的な手掛かりになり得る研究はほとんど行われていないが，第1章の第2節でも述べたように，音楽技能の熟達に関する研究から興味深い知見が得られている。その研究では，音楽技能の学習者は，技能の熟達に伴い，音高の処理に特殊化された，領域特殊的な処理機能を獲得し，その機能を上手く活用できるようになると同時に，領域非特殊的な，いわゆる一般的な構音処理機能の活用にも優れていくことが示唆されている（Schulze et al., 2011）。このような熟達に伴う処理過程の変化が，イメージ操作

の熟達においても生じるのであれば，熟達に伴い，特定のイメージ操作に特殊化された運動処理機能が運動システム内に獲得され，その機能を上手く活用できるようになると同時に，特定の操作以外の運動に関わる処理機能も上手く活用できるようになると考えられる。このアイデアを珠算学習者に適用すると，以下のことが予想される。すなわち，珠算技能が熟達すると，それに伴いソロバン指運動に特殊化された運動制御機能が運動システム内に獲得され，その機能を駆使できるようになるにしたがって，一般的な指の運動制御機能も上手く活用できるようになっていくということである。本研究では，この仮説を検証するため，6つの実験を行った。

実験 1～3 に関する予測

実験 1～3 では，領域特殊的なイメージ操作である，ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性を検証した。第 1 章の第 2 節で議論したように，技能の熟達に関する先行知見に基づくと，初級者はソロバン指運動に特殊化された，領域特殊的な運動制御機能（特殊機能）を獲得していないか，あるいは獲得していても，上手く活用できない。そのため，主に珠算技能に特殊化されていない，一般的な指の運動制御機能（一般機能）に依存して，ソロバンイメージ操作は行われると予想された。中熟達者の場合は，既に特殊機能を獲得し，かつ，その機能を上手く使いこなせるため，ソロバンイメージ操作は特殊機能に依存して行われると考えられた。一方，高熟達者では，特殊機能のみならず，一般機能も駆使することができるようになるため，ソロバンイメージ操作は両機能に同等に依存して行われると予想された。これらの予測を検証するために，実験 1～3 では，暗算課題と同時に，一般もしくは特殊機能に干渉すると考えられる，非関連あるいは関連タッピングが課された。特殊機能が

活用されていない場合は，領域特殊的なソロバン指運動にも領域非特殊的な運動にも一般機能が使われると考えられるため，初級者は，両タッピングの影響を同等に受けると予測された。中熟達者に関しては，関連タッピングの干渉効果が生じ，高熟達者においては，両タッピングの干渉効果が同等に生じると予測された。

実験 4～6 に関する予測

実験 4～6 では，領域非特殊的なイメージ操作と運動システムの関係性を検証した。ソロバン以外の領域非特殊的なイメージ操作には，基本的に一般機能が関与すると予想される。ただし，学習課題と類似したものほど転移が生じやすい（Kimball & Holyoak, 2000）という知見もあわせて考慮すると，ソロバンイメージ操作と類似したイメージ操作には，特殊機能も関与する可能性が考えられる。また上述したように，熟達に伴い，一般，特殊両機能を上手く活用できるようになるのであれば，ソロバンイメージ操作との類似度に関わらず，熟達度が高いほど，領域非特殊的なイメージ操作能力も向上していると予想された。

実験 4 では，まず，珠算技能の熟達に伴う，ソロバン以外のイメージ操作能力の向上を確認するために，初級，中熟達，高熟達の 3 群に分けた珠算学習者に，ソロバンイメージ操作と「対象」も「操作」も類似していると考えられる，円パターンのイメージを上下・左右に操作させる課題を行わせた。その後，実験 5 では，その課題と同時に非関連・関連タッピングを課した。「対象」や「操作」の類似性を考慮すると，円パターン・イメージの上下・左右操作には，一般，特殊両機能が関与すると予想される。そのため，両機能を活用すると考えられる中熟達，高熟達群においては，両機能に依存して円パターンのイメージ操作が行われると予想された。したがって，

彼らのイメージ操作は，非関連・関連両タッピングの影響を受けると予測された。初級群においては，特殊機能はまだ活用されていないと考えられるため，彼らのイメージ操作は一般機能に依存して行われると予想される。したがって，彼らも両タッピングの影響を受けると予測された。

実験 6 では，円・複合パターンの心的回転と同時に，非関連・関連タッピングを課した。まず，領域非特殊的なイメージの「操作」である「心的回転」には，全ての群において，一般機能が関与すると予想される。つまり，どちらのパターンの場合も，心的回転に関しては，熟達度に関わらず，非関連タッピングによる干渉が観察されると予想される。一方，「対象」の類似性という観点から考えると，円パターンの心的操作には特殊機能も関与すると考えられる。そのため，特殊機能を活用していると予想される，中熟達，高熟達群では，円パターンの心的回転は，関連タッピングによる干渉も受けると予測された。初級群に関しては，特殊機能は活用されていないと考えられるため，彼らが行う円・複合両パターンの心的回転は，非関連タッピングだけでなく，関連タッピングによっても干渉されると予想された。

実験 1～3 のまとめ

熟達に伴うソロバンイメージ操作と運動システムの関係性の変化を検証した実験 1～3 では，初級者に関しては，非関連・関連両タッピングの影響を同等に受けることが示された（Figure 2-5, 2-6）。この結果は，初級者は特殊機能を獲得していないか，あるいは獲得していてもまだ上手く活用できないため，主に一般機能に依存してソロバンイメージ操作が行われていることを示唆するものであった。中熟達者に関しては，両タッピングの干渉効果が生じるものの，その程度は関連タッピングの方

が大きいという結果が得られた (Figure 2-7, 2-8)。これは中熟達者のソロバンイメージ操作は、両機能に依存してはいるが、相対的には特殊機能への依存度の方が高いことを示すものであった。高熟達者においては、両タッピングの干渉効果が同等であることが示され (Figure 2-9, 2-10)、このことは、彼らのソロバンイメージ操作が、一般、特殊両機能に同等に依存して行われていることを示唆していた。このパフォーマンス・パターンは、一見、初級者同様に、高熟達者も一般機能のみに依存して課題を遂行していることを示しているように見える。しかし、中熟達者において特殊機能の活用が示されたことや、特定のイメージ操作に熟達していくと、他のイメージ操作も上手くなっていく可能性 (Wright et al., 2008) を考慮すると、高熟達者のソロバンイメージ操作は、両機能に同等に依存していると見なす方が妥当であろう。これらの結果は、中熟達者に関しては、仮説とは若干異なるものの、熟達に伴い、一般、特殊両機能を上手く活用して暗算を行えるようになっていくことを示しており、仮説を概ね支持するものであった。

熟達に伴い、これら両機能を上手く活用できるようになっていくということは、ソロバンイメージ操作だけでなく、ソロバン以外の領域非特殊的なイメージ操作も上手く行えるようになっていくことを意味しており、そのことは実験 4～6 によって確認された。

実験 4～6 のまとめ

実験 4 では、ソロバンイメージ操作と異なっているが、「対象」・「操作」とともに、ソロバンイメージ操作と比較的類似した、円パターンのイメージを上下・左右に操作する課題を課した。その結果、成績は、熟達度が高いほど良いことが示された (Figure 3-7)。この結果は、珠算技能の熟達に伴い、「対象」・「操作」とともに類似し

ていると考えられるイメージ操作に，能力が転移していくことを示すものであった。

上述のように，実験 4 で用いた円パターン・イメージを上下・左右に操作する課題は，「対象」・「操作」とともに，ソロバンイメージ操作と類似しており，ソロバンイメージ操作同様に，一般・特殊機能に依存して行われる可能性が高いと予想された。また，実験 4 の課題成績に上下・左右で差がないことから，操作方向に関わらず，ソロバンイメージ操作同様に，一般機能や特殊機能に依存して行われると予測された。

実験 5 では，暗算能力別に分けられた珠算学習者に，円パターンのイメージ操作課題と同時に，非関連・関連タッピングを課した。その結果，操作正答率，操作時間の結果において，両タッピングの干渉効果が同等であることが示された（Figure 3-21, 3-23）。この干渉パターンは，中熟達群以外は，実験 1～3 と同様であることから（Figure 2-5, 2-7, 2-9），実験 5 の結果は，円パターンのイメージ操作は，操作方向に関わらず，初級群は一般機能に，中熟達，高熟達群は，一般・特殊両機能に同等に依存することを示すものであったといえよう。これは，ソロバンイメージ操作と同じように，円パターン・イメージの上下・左右操作は，一般機能や特殊機能に依存するという予測を概ね支持していた。

また，実験 5 では，高熟達者ほど課題成績が良く（Figure 3-20, 3-24），実験 4 同様に，熟達に伴い，「対象」・「操作」とともに類似していると考えられるイメージ操作に，暗算能力が転移していくことを示していた。この結果と，先述の干渉パターンに関する結果を総合すると，イメージ操作能力の転移は，両機能の活用に優れることで生じることが示唆された。さらに，実験 5 では，珠算技能の熟達に伴い，「記銘」や「判断」に関する能力も向上していく可能性を示す結果が得られた。このよ

うに実験 5 の結果は，熟達に伴い，イメージに関する処理の効率化が行われるように，イメージ操作プロセス全般が変化していくこと示唆するものであったといえよう。

実験 6 では，円・複合パターンの心的回転に関して，操作正答率，操作・判断時間ともに，熟達度が高いほど成績が良かった（Figure 3-32, 3-35）。これは，珠算技能の熟達による能力の転移が，「対象」のみ類似および「対象」・「操作」とともに類似していないと考えられるイメージ操作にも及んでいくことを示していた。

手の動きに関する分析では，操作・判断時間における，関連条件の単純主効果のみが有意であった（Figure 3-34, Table 3-18）。これは，円・複合パターンの心的回転に対しては，非関連・関連タッピングの干渉効果が生じないこと，つまり，円・複合パターンの心的回転には，一般，特殊両機能が関与しないことを示唆している。ただし，前章第 3 節の考察でも述べたように，実験 5 の結果から，イメージ操作能力の転移は，両機能の活用に優れることで生じることが指摘されており，実験 6 で得られた転移を示す結果にも，一般・特殊機能の働きが関与していた可能性を考えることは，ある程度妥当に思われる。

このような可能性を踏まえると，関連条件で刺激の違いによる操作・判断時間の差が生じたのは，円パターンの心的回転に，関連タッピングが干渉したためと解釈するのが最も自然と思われる。さらに，操作・判断時間の結果パターン（Figure 3-34）は，円パターンの心的回転は，両タッピングによる干渉は生じるが，相対的には関連タッピングの干渉効果の方が大きく，複合パターンでは，両タッピングの干渉効果が生じるものの，非関連タッピングの干渉効果が大きいことを示していると解釈することもできる。これと，群×刺激×手の動きの交互作用が生じなかったことを踏まえると，操作・判断時間の結果は，熟達度に関わらず，円パターンおよび複合パ

ターンの心的回転は，両機能に依存するが，前者に関しては，一般機能よりも特殊機能に，後者に関しては，特殊機能よりも一般機能に多く依存することを示唆していたのではないかと推察される。もしそうならば，本実験において，暗算能力が円・複合パターンの心的回転にも転移することが示されたのは，実験 5 までの結果同様，熟達度が高いほど，両機能を駆使できたためであろうと考えられる。

このような可能性を受けて，実験 6 では，さらに，次のような指摘が行われた。それは，円・複合パターンの心的回転に，統計的に有意なタッピングの干渉効果が検出されなかったのは，心的および外的な運動の種類が異なるものであったためではないかというものである。つまり，一般機能や特殊機能は，「回転」や「直線」という運動の種類によって細分化されており，運動の種類が異なる，心的「回転」と「直線的」なタッピングとでは，使われる領域が異なるため，干渉が生じなかったのではないかということである。このことは，イメージ操作と運動システムの関係性の解明には，一般・特殊という 2 つの機能だけでなく，心的および外的な運動の種類の違いも考慮した検討を行う必要があることを示すものであるともいえる。

また，先述のように，実験 6 では，初級群においても特殊機能を活用している可能性が示された。このことを踏まえるなら，暗算や円パターン・イメージの上下・左右操作においても，課題の難易度を変化させると，特殊機能の関与を示すような結果が得られるかもしれない。これについては，今後の検討課題であろう。

以上のように実験 4～6 では，珠算技能の熟達に伴うイメージ操作能力の転移は，「対象」・「操作」とともに類似していないものにまで及ぶこと，さらには，領域特殊のおよび非特殊的な運動処理機能の活用に優れることで

生じるという，転移のメカニズムも示されたといえよう。

また実験 4～6 で得られた結果は，本研究で想定してきた，運動システム内の一般機能や特殊機能の理解にも，大きく貢献するものであったといえる。特殊機能に関しては，実験 1～3 では，暗算に特殊化されたものと想定していたが，実験 5・6 の結果を踏まえると，イメージ上における円で構成される対象の直線操作，さらには，円および三角形や四角形で構成される対象の回転操作にも関与する可能性が考えられる。このように，熟達の過程において獲得される特殊機能は，極めて高い柔軟性を有したものであることが示唆される。

さらに，一般機能や特殊機能の構造についても示唆を与えるものであったとえいる。すなわち，両機能では，「回転」や「直線」等の運動の種類ごとに細分化されているという可能性である。これについては検証が十分には行われていないので，さらに多くの検討を重ねることで，各機能における理解が進んでいくことが期待される。

本研究の結果から想定される熟達のプロセス

以上に述べた実験 1～6 の結果を踏まえると，イメージ操作における熟達プロセスは，以下のように考えられるのではないだろうか。

1. 未習熟段階

特定のイメージ操作に，ほとんど習熟していない段階では，運動システム内には，特定の運動の処理に特殊化されていない，領域非特殊的な一般機能のみが存在し，イメージの操作にはそれが使われる。一般機能は，「回転」や「直線」という運動ごとに，使われる領域が細分化されており，イメージ操作を行う際は，その操作に関連する一般機能の運動領域が活用される。この段階では，一般機能をまだ上手く活用できないので，イメージ操作

能力は低い。

2.初級段階

特定のイメージ操作に慣れ、初級程度の段階になると、運動システム内に、その操作に特殊化された機能が獲得され、その機能も一般機能とともに、ある程度活用されるようになる。ただし、活用の程度は、両機能ともに高くないため、イメージ操作能力はそれほど高くない。なお、特殊機能は、特定のイメージ操作に習熟することで獲得されるものであるが、その内実は、柔軟性が極めて高く、さらに、一般機能同様に、運動の種類ごとに、細分化が行われている。

3.中熟達段階

中程度の熟達段階になるころには、特殊機能のある程度上手く活用できるようになり、それと同時に、一般機能の活用にも優れていく。この段階では、両機能における、特定の操作に関わる運動領域を初級段階よりも駆使できるようになっており、それと同時に、それとは別種の運動領域もある程度上手く活用できるようになる。そのため、特定のイメージ操作のみならず、それ以外の領域非特殊的なイメージ操作もある程度上手く行えるようになっていく。

4.高熟達段階

最終的に高度な熟達段階になると、一般機能および特殊機能における、様々な運動領域の活用に優れていく。そのため、領域特殊的なイメージ操作のみならず、極めて非特殊性が強いイメージ操作にも上手く対処できるようになる。

イメージプロセス全般について

イメージの操作には，記銘，判断等も関わっており，それらの処理プロセスも，効率的な処理が行われるように変化していく。つまり，熟達に伴い，イメージ操作が効率的に行われるように，操作に関わるプロセスが全般的に変化していくということである。

以上のように，本研究では，これまでに知られていなかった，認知技能の熟達に伴う，イメージ操作過程の変化の一端が明らかにされたといえよう。

本研究がイメージ研究に貢献すること

これまでの研究では，イメージ操作に運動システムが関与することは知られていたが（e.g., Wexler et al., 1998; Wohlschlaeger & Wohlschlaeger, 1998），熟達に伴う両者の関係性の変化については，何も明らかにされていなかった。またイメージ操作能力が転移することは知られていたが（Wright et al., 2008; Terlecki et al., 2008），その背後で，イメージ操作過程がどのように変化しているかは，全く知られていなかった。本研究で得られた知見は，これら2つのことの解明に寄与するものであり，イメージ研究に大きく貢献すると思われる。本研究の知見は，イメージを必要とする技能の熟達に伴い，イメージ操作と運動システムの関係性がどのように変化していくのか，また両者の関係性の変化に伴い，領域特殊的および非特殊的なイメージ操作能力がどのように向上していくのかを明らかにしたものである。すなわち，イメージ操作の熟達や転移という現象について，詳細なメカニズムにまで踏み込んだ説明や予測を可能にするものであり，基礎的なイメージ研究の発展に大きく寄与するものといえる。

認知技能の熟達に関する示唆

ところで，本研究は，音楽技能の熟達過程に関する知見を参考に，作業仮説を立てた。得られた結果は，珠算と音楽には類似した構造の熟達過程があることを示唆していた。すなわち，前にも述べたように，音楽技能の熟達者は，音高に特殊化された，領域特殊的な処理機能を獲得し，それを上手く活用できるようになり，それと同時に，特殊化されていない，いわゆる一般的な構音処理機能も上手く活用できるようになっていくことが示されている（Schulze et al., 2011）。こうした熟達に伴う処理機能の変化は，本研究の珠算学習者において見られた，熟達に伴う運動システム内の処理機能の変化と極めて類似している。このように，珠算と音楽という，2つの異なる分野において，類似の熟達的变化が観察されたということは，もしかすると，特定の技能に熟達した人々には，分野に関わらず，その技能に特殊化された領域特殊的な処理機能と，領域非特殊的な，一般的な処理機能という2つの機能が備わっており，それらを上手く活用することで，技能領域に特定の課題のみならず，それ以外の領域における様々な課題も上手く処理しているのかもしれない。

第2節 様々な領域への本研究の寄与

前節にて，本研究は基礎的なイメージ研究に貢献するものと述べたが，イメージ以外の研究にも着目すると，本研究が様々な領域にも寄与する可能性が考えられる。

ワーキングメモリーモデル

Logie（1995）のワーキングメモリーモデルでは，イメージの操作に関わるものとして，インナースクライブ（inner scribe）という機能が想定されている。この機能は，運動のプランニングや制御に関与すると考えられており，本研究で想定している運動システムと非常に類

似した役割を有していると予想される。本研究で得られた結果を，Logie のワーキングメモリーモデルに適用すると，特定のイメージ操作に熟達した人は，その操作に特殊化されたインナースクライブ機能を獲得し，それを使いこなせるようになり，それと同時に，特殊化されていない，一般的なインナースクライブ機能も上手く活用できるようになることが考えられる。このように，本研究の知見は，熟達という要因を組み込んだワーキングメモリーモデルの提案を可能にすると考えられる。

転移研究

本研究では，イメージ操作の熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性を明らかにすることが主目的であったが，それを明らかにするための手段として，イメージ操作能力の転移について検討した。その際，転移課題を行わせるだけでなく，それと同時に，その課題に関与すると想定される処理機能に干渉するような課題も同時に行わせた。こうした検討を通じて，イメージ操作能力の転移の背後で生じているイメージ操作過程の変化を明らかにした。このような方法は，イメージ操作のみならず，その他の認知機能においても適用できるものであり，それを用いた検討を行うことで，様々な認知機能の転移に伴う処理過程の変化を明らかにすることが可能になることが期待される。これを明らかにしていくことは，転移を生じさせるためのより効率的な指導にも寄与するであろう。

教育分野

本研究の結果は，珠算技能に熟達していくと，ソロバンイメージ操作とは，「対象」も「操作」も類似していないイメージ操作にもその能力が転移していくことを示している。これまでも「対象」が類似で，「操作」が

同じもの，あるいは，「対象」が類似で，「操作」が類似していないもの等には，イメージ操作能力が転移していくことが示されていた (Terlecki et al., 2008; Wright et al., 2008)。しかし，本研究のように「対象」も「操作」も類似していないと考えられるイメージ操作に転移が生じることを示した研究は，筆者が知る限り存在しない。イメージ操作は，数学や自然科学，工学などの分野で重要であり，イメージ操作能力を向上させることは，教育の分野において極めて大きな問題であると考えられている (Wright et al.)。本研究の結果は，特定のイメージ操作を練習し続けることが，全般的なイメージ操作能力の向上に有益であることを示唆するものである。

第 3 節 本研究の深化に向けた課題と提言

本研究では，熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性の変化の一端を明らかにすることができたが，まだ十分に検討されていないことも多く，発展の余地があると考えられる。そこで，本論文の締めくくりとして，本研究をさらに発展させるための提案を以下に述べる。

各機能における運動の細分化

実験 6 において，一般機能や特殊機能は，「回転」や「直線」といった運動ごとに細分化されている可能性を指摘したが，その妥当性を検証する必要があるであろう。そのような検証は，例えば，心的回転課題と同時に，「回転」運動を必要とする二次課題を行わせることで可能になると思われる。予測が正しければ，心的回転に対しては，「回転」運動を必要とする二次課題の有意な干渉効果が検出されるはずである。逆に，「直線的」な操作を必要とする，ソロバンイメージ操作や円パターン・イメージの上下・左右操作と同時に「回転」運動を必要とする二次課題を行わせると，有意な干渉効果は生じないはず

である。このような検討を行うことで、一般機能や特殊機能の理解が、さらに進んでいくことが期待される。

課題の難易度

今回の実験で用いた課題の難易度を変えることで、より詳細に一般機能や特殊機能の役割を検証することが可能になるかもしれない。例えば、実験 5 の円パターンのイメージ操作は、 3×3 のマトリックスの中に、4 つの円を配置していたが、これを 4×4 のマトリックスにして、円の数を増やしたり、あるいは矢印の数を増やして操作回数を増やしたりすることで、課題の難易度をさらに高くする。こうすることで、一般機能の方がより関与することが示されたり、あるいは、高熟達者のみ特殊機能が関与することが示されたりするかもしれない。同様に、実験 1～3 の暗算課題の桁数や口数を細かく変化させていくことで、初級者においても、暗算に特殊機能が密接に関与することが示されるかもしれない。このように、難易度を変化させた課題を行うことで、イメージ操作と一般、特殊両機能の関係性がより詳細に明らかになると期待される。

課題の類似度

本研究では、ソロバンイメージ操作との類似度を考慮した課題を 4 通り行ったが、第 1 章で示した組み合わせ (Table 1-1) に基づくと、未検討の組み合わせが 4 通り残されている。それらは、「対象」が同じで、「操作」が類似したもの、「対象」が同じで、「操作」が類似していないもの、「対象」が非類似で、「操作」が同じもの、「対象」が非類似で、「操作」が類似していないという組み合わせである。これらの組み合わせの課題と同時に、珠算学習者に非関連・関連タッピングを行わせることで、より詳細に、熟達に伴う、イメージ操作と運動システム

の関係性を明らかにすることが可能になることが期待される。さらに、本研究では、ソロバンイメージ操作との類似度を、「同じ」、「類似」、「非類似」という3つの基準で分類したが、これをより細かく行うことで、より詳細に、一般、特殊両機能の役割を明らかにすることができると思われる。

最後に

本論文では、熟達に伴うイメージ操作と運動システムの関係性について検討を行い、これまでに知られていない様々な事実を明らかにした。しかし、第1章でも述べたように、本研究のように、熟達という観点から、イメージ操作と運動の関係性を検証した研究は、これまでほとんど行われていない。そのため、多くのことが未解明なままである。今後、さらに多くの研究が行われることで、興味深い事実が明らかにされ、イメージ操作過程の理解が進んでいくことが望まれる。

引用文献

- Baddeley (1986). *Working Memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Berti, S., Munzer, S., Schroger, E., and Pechman, T. (2006). Different interference effects in musicians and a control group. *Experimental Psychology*, 53, 2, 111-116.
- Cohen, J., MacWhinney, B., Flatt, M., & Provost, J. (1993). PsyScope: An interactive graphical system for designing and controlling experiments in the Psychology laboratory using Macintosh computers. *Behavioral Research Methods, Instrumentation, and Computation*, 25, 257-271.
- Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In: Chase, W.G. (Ed.), *Visual Information Processing*. Academic Press, New York.
- George, E.M., & Coch, D. (2011). Music training and working memory: an ERP study. *Neuropsychologia*, 49, 1083-1904.
- Hanakawa, T., Honda, M., Okada, T., Fukuyama, H., & Shibasaki, H. (2003). Neural correlates underlying mental calculation in abacus experts: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, 19, 296-307.

- Hatano, G., Miyake, Y., & Binks, M. G. (1977).
Performance of expert abacus operators.
Cognition, 5, 47-55.
- Hatta, T. & Hirose, T. (1991). Abacus training effects
on imagery recognition and operation in
children. *Psychologia*, 34, pp. 109-117.
- Hatta, T., & Miyazaki, M. (1989). Visual imagery
processing in Japanese abacus experts.
Imagination, Cognition and Personality, 9, 2,
91-102.
- 菱谷 晋介 (1993). イメージの個人差について：何が鮮明
性を決定するか 日本認知科学会編 認知科学の発
展 vol.6 講談社 pp.81-117.
- 菱谷 晋介 (2003). イメージ・トレーニングの認知的メカ
ニズムに関する基礎的研究．デサントスポーツ科
学, 24, 101-113.
- 菱谷 晋介・山内光哉 (1976). ソロバン習熟者の暗算にお
ける情報処理過程の分析 九州大学教育学部紀要,
20, 55-62.
- Kimball, D.R. & Holyoak, K.J. (2000). Transfer and
expertise. In: Tulving, E. & Craik, F. I. M. (eds.)
The Oxford Handbook of Memory, pp. 109-122.
Oxford:Oxford University Press.
- Koriat, A. & Norman, J. (1985). Mental rotaion and

visual familiarity. *Perception and Psychophysics*,
37, 423-439

Logie, R.H. (1995) . *Visuo-Spatial Working Memory*.
Hove: LEA

Logie, R.H., & Salway, A.F.S. (1990). Working memory
and modes of thinking: A secondary task
approach. In K.J. Gilhooly, M. Keane, R.H. Logie,
& G. Erdos (Eds.), *Lines of thinking: Reflections
on the Psychology of thought*, Vol. 2 (pp. 99-113).
Chichester, UK: Wiley.

Meulen, M., Logie, R. H., & Della Sala, S. (2009).
Selective interference with image retention and
generation: Evidence for the workspace model.
Quarterly Journal of Experimental Psychology,
62, 1568-1580.

Munzer, S., & Pechman, Th. (2000). Concurrent
processing of tonal and verbal materials in
working memory: Do musicians differ from
non-musicians? In E.Schroger, A. Mecklinger & A.
Friederici (eds.), *Working on working memory*.
Leipzig Series in Cognitive Sciences I. Leipziger
Universitätsverlag.

大木 桃代 (2001). 技能熟達者のイメージ 菱谷 晋介
編著 イメージの世界 イメージ研究の最前線 ナ
カニシヤ出版 pp.251-266.

Pearson, D. G., Logie, R. H., & Gilhooly, K. J. (1999).

Verbal representation and spatial manipulation during mental synthesis. *European Journal of Cognitive Psychology*, 11, 295-314.

Pechman, Th., & Mohr, G. (1992). Interference in memory for tonal pitch: Implications for a working memory model. *Memory & Cognition*, 20, 3, 314-320.

Richradson, A. (1969). *Mental Imagery*. London: Routledge & Kagan Paul. (リチャードソン, A. 鬼沢 貞・滝浦 静雄 (訳) (1973)). 心像 紀伊国屋書店)

Schulze, K., Zysset, S., Mueller, K., Friederici, A.D., and Koelsch, S. (2011). Neuroarchitecture of verbal and tonal working memory in non-musicians. *Human Brain Mapping*, 32, 771-783.

冷水 啓子 (1997). そろばんの心理 桃山学院大学人間科学, 12, 47-66.

Stieff, M., & Raje, S. (2008). Expertise and spatial reasoning in advanced scientific problem solving. In: Proceedings of the eighth international conference of the learning sciences. Erlbaum, Mahwah, NJ, pp. 366-373.

Stigler, J. W. (1984). "Mental abacus": The effect of abacus training on Chinese children's mental calculation. *Cognitive Psychology*, 16, 145-176.

田中悟志・花川隆・本田学 (2008). 達人の脳内機構
BRAIN and NERVE, 60, 77-94.

Terlecki, M.S., Newcombe, N.S., and Little, M. (2008).
Durable and generalized effects of spatial
experience on mental rotation: Gender
differences in growth patterns. *Applied Cognitive
Psychology*, 22, 7, 996-1013.

Wexler, M., Kosslyn, S. M., & Berthoz, A. (1998). Motor
processes in mental rotation. *Cognition*, 68,
77-94.

Wohlschlaeger, A., & Wohlschlaeger, A. (1998). Mental
and manual rotation. *Journal of Experimental
Psychology: Human Perception and Performance*,
24, 397-412.

Wright, R., Thompson, W. L., Ganis, G., Newcombe, N.
S., & Kosslyn, S. M. (2008). Training generalized
spatial skills. *Psychonomic Bulletin & Review*,
15, 763-771.

脚注

1. 計算の対象となる数の個数で，例えば， $123+456$ であれば，口数は2となる。

2. 高熟達者が非関連・関連両タッピングの干渉を受けるということは，一見すると，一方からの干渉しか受けない中熟達段階から，両タッピングの影響を受ける初級段階に戻っていくという，矛盾した結果のように思われる。ただし，これは，彼らにとって適切な難易度の課題を設定した時に予測されるものであり，同じ難易度の課題を行う場合には，初級者や中熟達者に比べ，高熟達者における両タッピングの影響は小さいと思われる。ソロバンイメージ操作と運動システムの関係性の検証に関しては，あくまでも，各熟達度に適したイメージ操作に係する運動機能を調べるのが目的なので，暗算課題における群間の成績の高低に関しては論じないこととする。ただし，ソロバン以外のイメージ操作と運動システムの関係性においては，能力の転移にも着目するため，群間での成績の違いについて論じていく。

3. 全国珠算教育連盟が主催する暗算検定において，10級から1級取得を目指す学習者（本研究における初級者相当）が行う見取り暗算の最大口数は5，準初段から10段取得を目指す学習者（本研究における中熟・高熟達者相当）に関しては8であるが，実験参加者の負担を考慮し，それぞれ最大口数より1つ少ない4口，7口とした。

4. 各熟達群における自由条件の正答率に関して，熟達度（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達）を要因とする1要因参加者間分散分析を行った結果，有意差は見られなかつ

た ($F(2, 45) = 2.097, n.s.$)。したがって、各熟達度に対する課題の難易度設定は、適切であったと考えられる。

5. 実験4～6の記銘・判断ブロックでは、記銘正答率が極めて高い値に集中しており、分布に正規性を仮定できない恐れがあるため、ノンパラメトリック検定も併せて行った。その結果、全ての実験において分散分析の結果と同様に、群（初級 vs. 中熟達 vs. 高熟達）や刺激（上下用 vs. 左右用，円 vs. 複合）の間に有意差はないことが確認されている：群（実験4～6，Kruskal-Wallis検定； $\chi^2_s < .07, ps > .05$ ），刺激（実験4・6，Wilcoxonの符号化順位検定； $|zs| < .45, ps > .05$ ，実験5，Mann-WhitneyのU検定； $|z| = 1.77, p > .05$ ）。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり，多くの時間を割いてご指導いただいた，指導教員の菱谷晋介教授には，心より御礼申し上げます。実験計画の立て方や，結果の分析，論文執筆の全てに関して，細やかなご指導を頂きました。時には，叱咤・激励をしていただき，研究に対する厳しさも教えていただきました。それら全てが，私の財産です。本当にありがとうございました。

副査をしていただいた，田山忠行教授，小野芳彦教授にも感謝いたします。様々な視点から，貴重なアドバイスを多数いただきました。それらを今後の研究活動に活かしていきたいと思えます。

また，菱谷研究室の皆様にも大変お世話になりました。毎週のゼミは常に刺激的で，多くのことを学ばせていただきました。論文執筆にあたり，多くの助言を頂いた，諸先輩，本山宏希氏，西原進吉氏，廣瀬健司氏，藤木晶子氏，本間美紀氏，大藤弘典氏，今井史氏に感謝いたします。また，後輩である，新原理津子氏，中村真理香氏，薛佳軒氏にも，感謝いたします。

さらに，長期に渡り，私の実験にご協力くださった珠算塾の皆様にも心より感謝の意を述べたいと思えます。皆様のご協力のおかげで，多くの実験を遂行することができました。

最後に，遠くから，論文執筆を見守ってくれた家族の温かい励ましに対して，心からの御礼を申し上げます。皆の支えが大きな力になりました。

松本信吾