



Title	イメージ操作能力と運動システムの関係性：ソロバンイメージ操作に類似していないイメージ操作課題を用いて
Author(s)	松本, 信吾
Relation	若手イメージ研究者のためのブラッシュアップセミナー (Brush up seminar for young researchers on mental imagery) . 2013年3月16日 (土) ~17日 (日) . 北海道大学学術交流会館, 札幌市.
Citation	若手イメージ研究者のためのブラッシュアップセミナー予稿集, 86-91
Issue Date	2013-03-14
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/52537
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	conference paper
File Information	matsumoto.pdf



イメージ操作能力と運動システムの関係性

ソロバンイメージ操作に類似していないイメージ操作課題を用いて

○松本信吾

(北海道大学大学院文学研究科)

キーワード：ソロバンイメージ操作，運動システム，タッピング

目 的

本研究の目的は、イメージ操作能力の熟達に伴い、イメージ操作過程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。こうしたことを明らかにするために、本研究ではソロバンイメージに対して初級程度から高度な操作能力を有する珠算学習者に、ソロバンイメージ操作に類似していないイメージ操作を行わせ、その操作過程がどのようなになっているのかを検討する。

一般に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。例えば、Cooper & Shepard (1973)と同様の課題を用いた Wexler, Kosslyn, & Berthoz (1998)の実験では、ブロックのイメージの心的回転と同時に、手でジョイスティックを回転させるという二重課題を参加者に行わせた。その結果、ジョイスティックとイメージの回転方向が同じ時には、異なる場合に比べて心的回転課題成績が相対的に良いことが示された。他の研究でも同様の結果が得られており(Oliver & Mendoza, 2000; Wohlschlaeger & Wohlschlaeger, 1998), そこでも、イメージ操作と運動システムの密接な関わりが指摘されている。

また最近の研究では、イメージ操作と運動システムの関係は、イメージ操作能力の熟達とともに変化していくことが、珠算学習者を対象にした研究から示唆されている。松本・菱谷(投稿中)は、視空間的なソロバンイメージを高速かつ正確に操作して暗算を行うことから、高度なソロバンイメージ操作能力を有していると考えられる珠算熟達者(Stigler, 1984)を対象に、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ている。彼らの研究では、暗算能力が中程度(1 級から 3 段)および高度(4 段以上)な

熟達者に、暗算と同時にパターンの異なる 2 種類のタッピングを課した。1 つは、指の動き一般に関わる運動制御機能(以下、一般機能)に干渉すると考えられる、実際のソロバン操作では見られない指の動き(以下、非関連タッピング)で、もう 1 つは、ソロバンイメージ操作に最適化された制御機能(以下、最適化機能)に干渉すると考えられる、実際のソロバン操作と同等の指の動き(以下、関連タッピング)であった。その結果、中程度の熟達者は無干渉時と比べ、両タッピング時に課題成績が有意に低下したが、干渉の程度は関連タッピングの方が大きかった。一方、高度な熟達者は無干渉時に比べ、関連タッピング時のみ課題成績が有意に低下した。ただし、両タッピング時の課題成績に有意差はなかった。これらは、暗算技能の熟達に伴い最適化機能が獲得され、中程度の熟達段階では、最適化機能へのソロバンイメージ操作の依存度は一般機能への依存度よりも相対的に高いが、一般機能へもある程度依存すること、高度な熟達段階では、中程度の熟達段階より最適化機能への依存は高くなり、一般機能への依存は低くなることを示唆している。こうした依存度の変化は、ソロバンイメージ操作に対する最適化機能の性能が、熟達とともに向上していくために生じたのであらうと考えられている。

熟達に伴い獲得される最適化機能は、暗算に限定されたものでなく、ソロバン以外のイメージ操作にも使用されることが示唆されている。ソロバンイメージ操作は、実際のソロバン珠の操作と同様なものであることが知られている(Stigler, 1984)。つまり、ソロバンイメージ操作とは、ソロバン珠の空間的な配置パターンを、平面上で直線的に上下方向へ動かすものであると考えられる。松本・菱谷(2012)

は、最適化機能の働きが暗算に限定されたものなのかどうかを検討するために、黒い丸で構成される空間的なパターン（以下、丸パターン）のイメージを上下・左右に操作させるという、ソロバンイメージ操作と同様なイメージ操作課題を用いた実験を行っている。実験では、珠算学習者を暗算能力別に、初級群（2級以下）、中程度および高度な熟達群の3群に分け、彼らに課題と同時に、非関連・関連タッピングを行わせた。その結果、熟達度に関わらず、課題成績に両タッピングが同程度の影響を及ぼすことが示された。また、熟達度が高いほど、課題成績が良いことも示された。これらの結果は、珠算学習者における丸パターンのイメージの直線操作は、一般・最適化両機能に同程度依存していること、さらに、熟達に伴い、丸パターンのイメージの直線的操作に対する両機能の性能が向上していくことを示唆している。このように、熟達に伴い獲得される最適化機能は、暗算に限定されたものではなく、ソロバン以外のイメージ操作にも使用されることが示唆されている。

それでは、最適化機能はあらゆるイメージ操作に対して使用される汎用的なものなのであろうか、それともその使用範囲は限定されたものなのであろうか。松本・菱谷（2012）で使用された空間パターンのイメージ操作は、何を操作するのかという操作の「対象」も、それをどのように動かすのかという「操作」も、ソロバンイメージ操作に非常に類似したものであった。もし、最適化機能が汎用的なものであるならば、丸パターンのイメージ操作のように類似したものだけでなく、より類似性が低いイメージ操作にも使用されるはずである。一方、限定的なものであるならば、類似性が低いイメージ操作に対しては使用されない可能性が考えられる。こうしたことを検討することは、熟達に伴うイメージ操作過程の変化をより詳細に明らかにし、さらには、イメージ操作メカニズムの解明にもつながると考えられるため、イメージ研究において非常に重要である。そこで、本研究

では、珠算学習者に、丸パターンのイメージ操作に比して、ソロバンイメージ操作とは類似性が低いイメージ操作を行わせ、そうしたイメージ操作にも最適化機能が使用されるのかを検討する。

丸パターンのイメージ操作より類似性が低いものには以下のようなものが考えられる。「対象」に関しては、ソロバンイメージには使用されない複数の図形で構成されたもの（以下、混合パターン）、「操作」に関しては、ソロバンイメージ操作では必要とされない回転操作が考えられる。これらを組み合わせて行うイメージ操作は、丸パターンのイメージ操作に比して、ソロバンイメージ操作との類似度は低いと考えられる。また丸パターンのイメージ操作よりも類似性が低いものには、「対象」は丸パターンで「操作」は回転、あるいは「対象」は混合パターンで「操作」は上下・左右への直線的なものという組み合わせも考えられる。以上の組み合わせの中で、本研究では、丸・混合パターンのイメージの心的回転を行わせることとする。

先行研究において、ソロバンイメージ操作を行う際は、最適化機能への依存度の方が一般機能への依存度よりも相対的に高く（松本・菱谷、投稿中）、一方、類似したイメージ操作を行う際は、両機能への依存度は同程度であることが示唆されている（松本・菱谷、2012）。これらを考慮すると、「対象」や「操作」の類似度が低くなるほど、最適化機能への依存度が低下し、逆に一般機能への依存度は高くなるのかもしれない。すなわち、丸・混合パターンの回転操作においては、一般機能への依存度の方が最適化機能への依存度よりも相対的に高く、また両者を比べると、より類似度が低いと考えられる混合パターンの回転操作の方が、一般機能への依存度が高いのではないかとと思われる。また、ある課題に熟達した場合、その課題と同じような処理過程が使用される課題においては、課題成績が良いことが知られている（Kimball & Holyoak, 2000）。したがって、丸・混合パターンが、一般・最適化機能を使用しているのであれば、課題成績は熟達度が高いほど良く

なっていると予測される。こうしたことは、先行研究同様に、両刺激の心的回転と同時に非関連・関連タッピングを珠算学習者に行わせることで明らかになると考えられる。

そこで本研究では、先行研究に倣い暗算能力別に珠算学習者を3群に分け、彼らに丸・混合パターンの心的回転を、両手を固定して行う固定条件、非関連タッピングと同時に進行する非関連条件、関連タッピングと同時に進行する関連条件の3つの条件で行わせた。

方 法

実験参加者 高熟達群(4段以上)、中熟達群(1級から3段)、初級群(2級以下)各6名。

材料 丸パターン(7つの黒丸で構成されたもの)、混合パターン(丸以外の複数の図形から構成されたもの)各2つ(Fig.1)。



Fig1. 丸・混合パターン例

装置 パソコン及び自作したタッピング装置。

手続き 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、参加者は、固定条件では指定の箱を両手で持つように、非関連・関連条件では指定の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、教示文が1000ms呈示され、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、課題に答えるまで続けるように求められた。続いてブランク画面が500ms呈示された後、2つの刺激が左右に並んだ状態で呈示された。参加者は、2つの刺激の異同判断を、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。以上が1試行の流れである(Fig.2)。

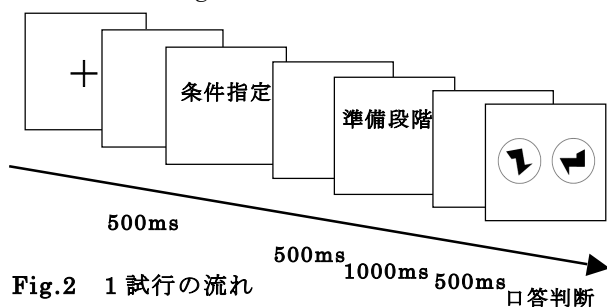


Fig.2 1試行の流れ

1ブロック36試行、計2ブロック、全72試行であった。正答率と正答時の操作時間を分析対象とした。なお、認知課題とタッピングを同時に行う場合、課題への干渉の程度を小さくしようとして、タッピングが抑制されることがあり(伊田, 1988)、そのような抑制が生じれば、タッピングによる暗算課題への干渉効果が見られなくなる可能性もある。したがって、課題へのタッピングの干渉効果を正確に評価するには、タッピングの抑制の程度(以下、減少率)についても併せて検討しておく必要がある。そのため、本研究では、タッピングのみを行う場合(以下、ベースライン)の回数と、課題と同時に行う場合の1秒あたりのタッピング回数を測定し、 $[100 \times (\text{ベースラインの回数} - \text{課題時のタッピング回数}) / \text{ベースラインの回数}]$ という式にしたがって減少率を求め、分析対象とした。

結果

正答率と操作時間に関して、群(高 vs. 中 vs. 初) × 手の動き(固定 vs. 非関連 vs. 関連) × 刺激(丸 vs. 混合) × 回転角度(100° vs. 180° vs. 260°)を要因とする4要因混合分散分析を行った。

正答率は、群の主効果が有意で($F(2,15) = 4.122, p < .005$), 多重比較の結果、初級群と高熟達群間に有意差が見られた(Fig.3)。操作時間は、回転角度の主効果が有意($F(2,30) = 6.601, p < .001$)で、多重比較の結果、 100° と 260° ($p < .05$), 180° と 260° ($p < .01$)の間に有意差が見られた(Fig.4)。手の動きと刺激の交互作用も有意($F(2,30) = 3.937, p < .005$)で、単純主効果検定の結果、丸パターンにおける手の動きの効果のみが有意であった($F(2,60) = 3.256, p < .05$)。多重比較の結果、固定と非関連条件の間に有意差が見られた($p < .05$) (Fig.5)。タッピング減少率に関して、群(高 vs. 中 vs. 初) × 手の動き(非関連 vs. 関連) × 刺激(丸 vs. 混合) × 回転角度(100° vs. 180° vs. 260°)を要因とする4要因混合分散分析を行った。その結果、手の動きの主効果が有意で($F(1,15) = 4.879, p < .05$), 非関連タッピングの減少率の方が、関連タッピングの減少率よりも大きいこと

が示された (Fig.6)。

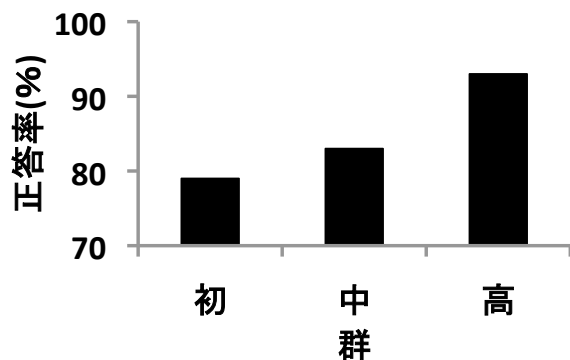


Fig.3 正答率に関する群の効果

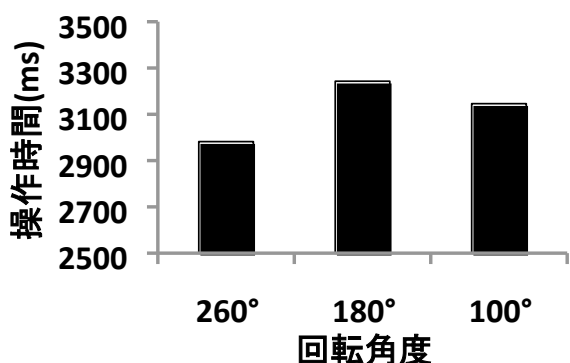


Fig.4 操作時間に関する回転角度の効果

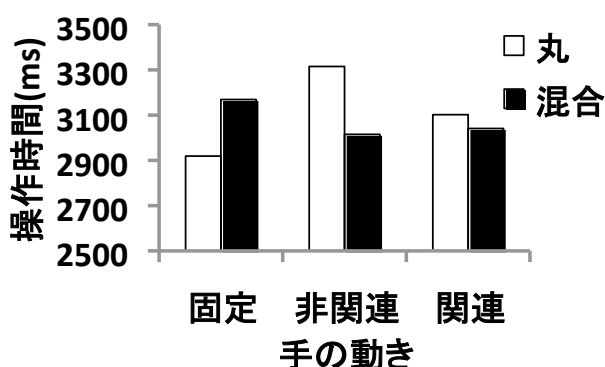


Fig.5 操作時間に関する刺激と手の動きの交互作用

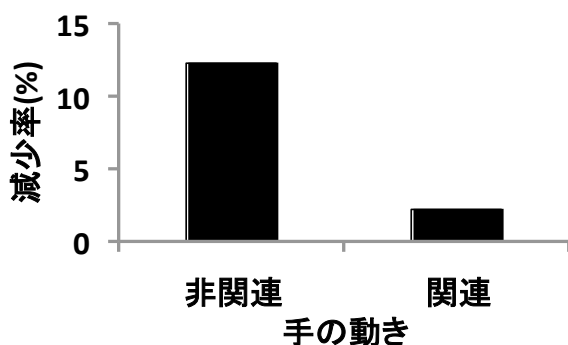


Fig.6 減少率に関する手の動きの効果

考察

正答率に関する群の主効果は、初級群よりも高熟達群の正答率が高いことを示していた。この結果は、ソロバンイメージ操作能力の熟達に伴い、丸・混合パターンを心的に回転する能力も高くなることを示唆している。前述のように、熟達した課題と同じような処理過程を使用する課題の成績が良くなることを考慮すると、こうした課題も一般・最適化機能を使用しており、それらの機能の性能が向上しているために、課題成績が良くなったのかもしれない。

操作時間に関する角度の主効果は、回転角度が260°の時のほうが100°や180°の時よりも操作時間が速いことを示している。この結果は、本実験の参加者は刺激を反時計回りに回転する方が、時計回りに回転するよりも速いことを示唆している。現時点でその原因は明らかではないが、ひとつの可能性として、以下のようなことが考えられる。この実験では、左側に呈示された刺激を心的に回転させるように教示されており、その刺激に対しては参加者の左手の方が右手よりも距離が近い。また、手首の構造上、左手を使って回転する時は、時計回りよりも反時計回りの方が、回転できる範囲が大きい。そのため、課題を行う際には、できるだけ速く行うために心的に左手を使い、また、それを反時計回りに回転させていたために、260°の回転角度の操作時間が速くなったのかもしれない。これに関しては、今後の検討課題であろう。

操作時間に関する刺激と手の動きの交互作用は、丸パターンの操作時間が、固定条件に比べて非関連条件では遅くなることを示している。この結果は、一般機能に対する非関連タッピングの干渉効果が生じたことを示しており、丸パターンの心的回転は、一般機能に依存していることを示唆している。また非関連条件と関連条件には有意差が見られず、操作時間の平均値が固定、関連、非関連の順に大きくなっていることを考慮すると、最適化機能に対する関連タッピングの干渉効果も幾らかは生じていると考えられる。このことは、丸パターンの心的回転は、最

適化機能にも幾らか依存していることを示唆している。これらのことを総合的に考えると、丸パターンの心的回転は、一般機能への依存度の方が最適化機能への依存度よりも相対的に高く、最適化機能へも幾らか依存していると考えられる。一方、混合パターンに関しては、条件間で差が見られなかった。この結果は、混合パターンの心的回転は、一般・最適化両機能へは依存していないことを示唆するものである。ただし、混合パターンにおいては、有意差はないものの、固定条件の操作時間の平均値が 2 つのタッピング条件よりも大きい。このことを考慮すると、混合パターンの心的回転は、手を固定した状態では運動システムを賦活させにくいため、操作時間が遅くなり、タッピング条件とは差が生じなかったのかもしれない。

タッピング減少率に関する手の動きの主効果は、非関連タッピングの減少率が関連タッピングの減少率よりも大きいことを示している。この結果は、丸・混合パターンの心的回転への非関連タッピングの干渉効果を小さくしようと、参加者がタッピングを抑制していたことを示唆している。このことは、両刺激の回転操作は一般機能に依存していることを示している。一方、両刺激の回転操作は、最適化機能への依存の程度は低いいため、関連タッピングに関しては、参加者が抑制する必要はなかったのではないかとと思われる。

以上の正答率・操作時間・減少率の結果を総合すると、珠算学習者の丸パターンの心的回転は、一般機能への依存度の方が最適化機能への依存度よりも相対的に高く、最適化機能へも幾らかは依存しており、一方、混合パターンの回転操作は一般機能にのみ依存していると考えられる。この結果は、ソロバンイメージ操作とは類似度が低いイメージ操作ほど、一般機能への依存が高くなるという予測を支持するものである。また、このことは最適化機能が完全に汎用的なものではなく、類似度により、その使われ方が変化することが示唆される。また、熟達度が高いほど正答率が高かったことから、熟達に伴い、丸

パターンの心的回転に対する一般・最適化両機能の性能とともに、混合パターンに対する一般機能の性能が向上していくことが示唆される。

本研究結果とこれまでの研究結果から、ソロバンイメージ操作能力の熟達に伴い、イメージ操作過程は以下のように変化していることが示唆されている。ソロバンイメージ操作能力の熟達に伴い、最適化機能が獲得され、ソロバンイメージ操作に対する性能が向上していく。そのため、ソロバンイメージ操作に関しては、最適化機能への依存度の方が、一般機能への依存度よりも相対的に高くなっていく。また、熟達の過程において、ソロバンイメージ操作に「対象」・「操作」とともに類似したイメージ操作に対する一般・最適化両機能の性能も向上していくため、そうした操作は両機能へ同等に依存する。さらに、「対象」は類似しているが「操作」は類似していないイメージ操作に対しては、両機能の性能が向上するが、性能は一般機能の方が高いため、一般機能への依存度の方が最適化機能への依存度よりも相対的に高くなる。そして、「対象」・「操作」とともに類似していないイメージ操作に対しては、一般機能の性能のみが向上してくため、最適化機能へは依存せず、一般機能へのみ依存する。このように、ソロバンイメージ操作能力の熟達に伴い、両機能の性能が、イメージ操作の「対象」や「操作」の組み合わせにより異なる向上の仕方をするすることで、操作過程がダイナミックに変化していくことが示されている。

引用文献

- 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.
- 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.

- 伊田行秀(1988). 手指の運動に対する並行課題の干渉効果の非対称性, 京都大学教育学部紀要, 30, 284-296.
- Oliver, G., & Mendoza, J. L. J. (2000). Motor dimension of visual mental image translation processes. *Perceptual and Motor Skills*, 90, 1008-1026.
- 松本信吾・菱谷晋介 (2012) . 珠算学習者におけるイメージ操作と運動システムの関係性 日本イメージ心理学会第13回大会. (片平さくらホール, 9月29日・30日)
- Stigler, J. W. (1984). “Mental abacus”: The effect of abacus training on Chinese children’s mental calculation. *Cognitive Psychology*, 16, 145-176.
- 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.