空間記憶に及ぼす身体運動による選択的干渉および促進効果： 眼球運動との比較に基づいて

藤 木 晶 子・菱 谷 晋 介 (北海道大学)

Selective interference and facilitation effects of limb movements on spatial memory:
Evidence from comparisons with eye-movement effect

Akiko FUJIKI and Shinsuke HISHITANI (*Hokkaido University*)

Fujiki & Hishitani (2010) have argued that eye movements are involved in the rehearsal of spatial information that is visually encoded, but limb movements are not. However, previous studies have yet to elucidate whether spatial information is rehearsed by both limb and eye movements or only by limb movements when such information is kinesthetically encoded. In the present study, we conducted two experiments that used a spatial memory task to memorize the direction of finger movements. The first experiment found that irrelevant limb movements interfered with spatial memory, but irrelevant eye movements did not. The second experiment showed that only relevant limb movements caused a facilitation effect on spatial memory under a 10-second delay condition. The findings from these experiments suggest that limb movements are involved in the rehearsal of spatial information that is kinesthetically encoded, but eye movements are not.

Key words: spatial rehearsal, limb movement, eye movement, kinesthetic encoding

藤木・菱谷 (2010) では、視覚によって符号化された空間情報のリハーサルに対し、眼球運動のみが関与し、身体運動は関与していないという研究成果を提出している。しかし、身体感覚によって符号化された空間情報のリハーサルに対し、身体運動と眼球運動の両方が関与しているのか、それとも身体運動が選択的に関与しているのかという問題については不明である。そこで、本研究は、手指の移動方向を記憶する課題を用い、この問題を検討する実験を二つ行った。その結果、実験1では、身体感覚によって符号化された空間記憶に対しては、身体運動のみが干渉し、眼球運動は干渉しなかった。実験2では、10秒後に再認する場合、身体運動リハーサルを行った場合においてのみ促進効果が生じた。こうした実験結果から、身体感覚によって符号化された空間情報のリハーサルには、眼球運動は関与しておらず、身体運動のみが関与していることが示唆された。

キーワード：空間リハーサル、身体運動、眼球運動、身体感覚による符号化

近年、ワーキングメモリ研究では、対象の色や形といった情報と位置のような情報は、それぞれ視覚情報と空間情報と呼ばれ、個別のコンポーネントに保持される (Della, Sala, Gray, Baddeley, Allamano, & Wilson, 1999; Klauer & Zhao, 2004) ことが明らかにされている。このような視覚情報と空間情報を保持するコンポーネントは、それぞれ、視覚ワーキングメモリ (e.g., Vogel, Woodman, & Luck, 2001, 2006)、および空間ワーキングメモリ (e.g., Postle, Idzikowski, Della Sala, Logie, & Baddeley, 2006) として区別されており、各コンポーネントの詳細を明らかにする研究が行われている。本研究では、とくに後者のリハーサル機能の詳細について検討する。

これまでの研究によれば、空間ワーキングメモリのリハーサルには、身体運動 (Della et al., 1999; Lawrence, Myerson, Oonk, & Abrams, 2001; Quinn & Ralston, 1986; Salway & Logie, 1995; Smyth, Pearson, & Pen-

dleton, 1988; Smyth & Pendleton, 1989) と、眼球運動 (Baddeley, 1986; Lawrence et al., 2001; Postle, Idzikowski, Della Sala, Logie, & Baddeley, 2006) が関与していることが明らかにされている。こうした研究では、空間情報を保持する一次課題と同時に、他の課題 (二次課題) を遂行するという二重課題法が用いられている。例えば、Quinn & Ralston (1986) は、4×4の空白のマトリックスをイメージし、指示されたマス目の位置を順番に記憶するというブルックス課題を用い、それと同時に、実験参加者に四角を描くように指でタッピングすることを求めたところ、指を動かさなかった場合よりも記憶成績が低下した。また、Baddeley (1986) の実験では、ブルックス課題と同時に、ディスプレイ上の2点間を上下に移動する図形を目で追うことが、実験参加者に求められていた。この二次課題は図形の追視という単純な課題であり、特別に認知的負荷が高いものではなかった。しかし、それにもかかわらず、何も行わなかっ

た場合よりも追視を行ったほうが記憶成績は低下するという干渉効果が生じた。

さらに、このような空間情報のリハーサルには、眼球や手指の動きそのものではなく、その運動をコントロールする機能が重要な役割を果たしていることも示唆されている。Smyth & Pendleton (1989) は、四角に並べられた金属板を順番に叩くという、手指の動きをコントロールする必要のある運動を行う場合には干渉効果が生じるが、チューブを握ったり離したりを繰り返すような、特定の筋肉の収縮と弛緩を反復する運動では、干渉効果は生じないことを明らかにしている。同様のことを眼球運動について検討した Postle et al. (2006) では、ディスプレイに順番に提示される対象を目で追うような、コントロールを必要とする随意眼球運動を行う場合には干渉効果が生じるが、自動的に回転する椅子に座った後に生じる回転後眼振のような不随意眼球運動では、干渉効果は生じないことを明らかにしている。

このように、従来の空間ワーキングメモリ研究では、空間記憶課題に対し、身体運動によっても、眼球運動によっても、干渉効果が生じており、いずれも運動をコントロールする機能が関与していることから、両者に共通した運動をコントロールする機能が、リハーサル機能を果たしているのであろうと考えられている。眼球運動と身体運動による干渉効果の大きさを比較し、両者による効果の大きさが同程度であることを示した Lawrence et al. (2001) の研究は、そうした立場を支持する代表的な例といえる。

しかしながら、空間記憶課題に及ぼす、身体および眼球運動による干渉効果に対する解釈として、両者に共通した運動のコントロール機能が妨害されたために生じたとする説明が、唯一のものというわけではない。従来の空間ワーキングメモリ研究で使われてきた記憶課題の特性を考慮した場合には、これとは別のメカニズムを想定することも可能である。すなわち、これまでの課題では、空間情報は視覚的に提示され、想起の際には、その空間位置を手指で指し示して再生することが求められていた。この際、想起時には、目によって手をガイドするための視覚的な情報と、実際に手を動かすための身体感覚的な情報が必要だったと考えられる。つまり、この課題では、記銘情報の提示は視覚的に行われるが、想起時には視覚と身体感覚の両方が用いられていたと考えられる。こうした課題を遂行する際には、入力された空間情報を単に視覚的に符号化し、貯蔵しておくだけではなく、想起時に利用される身体感覚的な符号としても貯蔵しておくほうが、効率よく想起できると思われる (e.g., Connolly & Jones, 1970)。また、空間情報の保持に際し、視覚的符号のみが利用される状況がある一方で、視覚が利用できない状況では、身体感覚的符号を利用していると解釈

できるような結果を報告した研究もある (e.g. Cattaneo & Vecchi, 2008)。これらの点を考慮し、従来の研究で用いられてきた記憶課題を見直すと、記憶課題に必要とされる貯蔵システムが単一であるという可能性以外に、想起時に利用される符号に合わせて、視覚のおよび身体感覚的という、二つの異なる空間情報を貯蔵するシステムを必要としていた可能性も考えられる。

従来の記憶課題に、こうした二つのリハーサルシステムが関与していた可能性を少なからず示唆する知見として、Hale, Myerson, Rhee, Weiss, & Abrams (1996) の研究がある。彼らは、記銘時に視覚、想起時に視覚と身体感覚を利用する従来の空間記憶課題を用い、眼球運動のみによる干渉と眼球運動と身体運動の両方を用いた干渉の効果の大きさを比較した。その結果、前者の単一の運動よりも、後者の眼球も手指も動かした場合のほうが、その干渉効果が有意に大きいことを見いだしている。こうした結果の解釈として、彼らは、手指の動きが加わることで、何らかの認知負荷が増大したために干渉効果が増加した可能性を指摘している。しかしながら、こうした結果は、この課題に必要であったであろう、眼球運動と身体運動のそれぞれに関係した二つのリハーサルシステムが、眼球と手指の両方を動かすことでともに干渉され、一方のリハーサルシステムのみを干渉する場合よりもその干渉効果が大きくなったために生じたと考えることも可能である。

上述したように、視覚によって貯蔵された空間情報のリハーサルには眼球運動が、身体感覚によって貯蔵された空間情報のリハーサルには身体運動が関与するという可能性が考えられる。しかし、これまでの空間ワーキングメモリ研究では、そのようなメカニズムについては、十分な議論がされてこなかった。そうした背景には、想起時に視覚的な情報と身体感覚的な情報が必要となるような、二つの符号を必要とする記憶課題が用いられていたため、その課題成績に及ぼす眼球運動と身体運動の効果を分離して検討できなかったためではないかと思われる。

藤木・菱谷 (2010) は、こうした従来の研究がもつ問題点を改善すべく、記憶すべき情報を視覚に限定するような空間記憶課題を用い、そうした課題に対し、眼球運動によっても身体運動によっても干渉や促進効果が生じるのかどうかを検討した。もし目や手指に共通した運動をコントロールする機能が、空間情報のリハーサルに関与しているのであれば、空間情報の貯蔵が視覚に限定されていても、眼球運動と身体運動の両方による干渉および促進効果が生じると予想される。しかし、目の運動は視覚的、手指の運動は身体感覚的な空間情報貯蔵システムのリハーサルにそれぞれ関与しているのであれば、視覚的に貯蔵された空間情報のリハーサルには、眼球運動

のみによる干渉および促進効果が生じ、身体運動による効果は生じないだろうと予想される。実験の結果、眼球運動の場合のみに干渉と促進効果が得られ、身体運動に関してはいずれの効果も生じなかった。つまり、視覚的な符号のみが必要とされる課題状況では、眼球の運動をコントロールする機能のみが、空間情報のリハーサル機能を果たしていることが示された。

そこで、本研究では、身体感覚による符号のみが必要とされる課題状況を設定し、保持される情報に対し身体運動のみがリハーサル機能を有するのか、それとも、眼球運動も同様の機能をもつかという問題について検討する。

実験 1

実験 1 では、空間情報に対する身体運動と眼球運動のリハーサル機能を検討するため、二重課題法を用いて干渉効果の測定を行った。視覚的な符号の使用を可能な限り避けた記憶課題とするため、閉眼状態の実験参加者に、移動する指の移動方向を記憶し、再度同じように提示される指の移動方向が前と同じ方向に移動したかどうかの異同判断を求めることにした。もし、このような課題状況において、身体運動のみが空間情報のリハーサルに関与するのなら、眼球運動干渉条件、身体運動干渉条件、および運動干渉なし条件の三つの条件を比較した場合、身体運動のみ記憶成績が低くなり、他の二つの場合の記憶成績は同等であるという、身体運動による選択的干渉効果が生じると予測される。

方法

実験参加者 視覚が正常であり、かつ右利きの大学生 24 名（男性 9 名、女性 15 名、平均年齢 20.2 歳）が実験に参加した。

装置 刺激の提示には、この実験のために製作された手指移動装置が用いられた。装置のある場所を指で軽く押下すると、押下した場所が移動し、自動的に止まるしくみになっていた。移動中、実験参加者の指が装置から外れないようにするために、指で押下する場所 (1.5 cm × 1.5 cm) と実験参加者の人差し指のそれぞれに滑り止めのゴムが装着された。

眼球運動干渉課題の練習には、17 インチの液晶ディスプレイが搭載された Apple 社製 iMacG4 が用いられた。

各装置と実験参加者の位置関係を Figure 1 に示す。

記憶課題 記憶課題はすべて目を閉じて行われたため、試行開始にあたって、実験者が実験参加者の人差し指を、机上に置かれた装置の手指移動開始位置へと誘導した。実験参加者が開始位置を軽く押下すると、自動的に指が終着位置まで移動した。移動距離は約 7 cm、移動時間は平均 601 ミリ秒であった¹⁾。指の移動開始位置は、常に、

Figure 1. Schematic illustrations of the experimental situation. (a): Overhead-view illustration. (b): Lateral-view illustration.

直径 14 cm の円の中心であった。指の移動終了位置は、円周上に配置され、水平および垂直軸からそれぞれ 30° 離れた 8 カ所のいずれかの場所であった (Figure 2)。参加者には、移動開始位置から終了位置までの移動方向を記録することが求められた。5 秒間の遅延時間後に、再度、人差し指の移動が行われ、前に提示された指の移動方向と同じかどうかという再認判断が行われた。前に提示された方向とは異なる不一致試行では、記録方向から約 20° ずれた方向に指が移動した。1 ブロック中、八つの方向がそれぞれ一致試行と不一致試行として割り当て

- 1) 手指移動装置の特性上、手指を移動させる際に指を装置に載せておく圧力の違いによって、移動時間に若干の長短が生じた。そこで、人差し指の移動開始から終了までの時間を、装置に備え付けられているスイッチを使い、毎試行、パソコンに記録するようにした。その結果、全実験参加者のすべての試行を合わせた指の平均移動時間が、601 ミリ秒 ($SD=41$) となった。

Figure 2. Target stimuli for the memory task. The experimental device moved their index finger to one of eight targets located radially from the central start position.

られ、合計16試行行われた。ブロック内の試行の実施順序は、ランダム化されていた。実験参加者の手および装置は覆いによって隠されていた。

干渉条件 すべての条件において、二次課題は5秒間の遅延時間中に行われ、記憶課題と同様に、目を閉じたまま課題を遂行することが求められた。

眼球運動干渉条件では、正方形を描くよう眼球を動かす課題が行われた。練習では、ディスプレイの右上から反時計回りに正方形（一辺の移動距離は視角にして 9.6° ）を描くように移動する、視角 0.8° のグレーのドットを目で追う作業を行った後、目を閉じて、同じようなタイミングで眼球を動かすことが求められた。この一連の練習は2回繰り返された。本試行では、練習の後半と同じように、目を閉じた状態で自分自身で眼球を動かさねばならなかった。

身体運動干渉条件では、正方形を描くように右手の人差し指を動かす課題が行われた。練習では、手指移動装置から少し指を浮かせた状態で、実験者が参加者の指を補助しながら、正方形を描くように指を動かした。その後、実験者が補助しない状態で、同じようなタイミングで指を動かすことが求められた。この一連の練習は2回繰り返された。本試行でも、練習同様、人差し指を動かすことが求められた。

運動干渉なし条件では、空間的なリハーサルを積極的に行わない条件として、1~9のうちランダムに選ばれた1桁の数字が聴覚提示され、その次の数（例えば「1」と聞こえたら「2」）をなるべく早く発話するという数唱課題が5回行われた。数字は女性の声で録音されており、パーソナルコンピュータのスピーカーから、500ミリ秒ごとに一つずつ提示された。

Figure 3. Example of horizontal EOG trace in each interference condition.

EOG法による眼球運動の測定 眼球運動干渉条件では眼球運動が行われ、他の二次課題では眼球運動が行われていないことを確認するために、EOG法による水平方向の眼球運動の観察が行われた。実験前、皮膚前処理剤（日本光電製、スキンプュア）を用いて皮膚をこすり、両外眼瞼角および前額中央にディスポ電極（日本光電製、Vitrode F, F-150S）を装着した。皮膚抵抗は、電極装着後、 $30 \sim 50 \text{ k}\Omega$ に下がっていることを確認した。眼球運動は、練習試行中に記録された。すべての参加者において、眼球運動干渉条件では眼球運動が生じており、身体運動干渉条件および運動干渉なし条件では眼球運動が生じていないことが確認された。Figure 3は、各干渉課題中の眼球運動の典型的な例を示したものである。

手続き 実験参加者は椅子に座り、顎台に顎を載せ、右手の肘を机の上におくことが求められた (Figure 1 (b)). まず、手指移動装置を使った指の移動に慣れるための練習が行われた。この練習には、本試行では使用しない、垂直方向（奥の方向と手前の方向）、水平方向（左方向と右方向）が用いられた。音を合図に、実験者が実験参加者の人差し指を移動開始位置に誘導した後、実験参加者がその箇所を押下することで指の移動が行われた。実験参加者は、指の移動が止まるまで、その箇所に指をおいておくことが求められ、移動終了後、その箇所から指を離すことが求められた。どの方向も、指が移動する

途中で装置から外れることなく、終了位置までスムーズに移動できるようになるまで練習が行われた。また、この際、指や手首の動きなどに無理な負担がかからないように、机におく肘の位置と装置との距離、顎台の顎の高さ、ディスプレイの高さ、椅子の位置などが、実験参加者ごとに調整された。本試行は、練習で調整された状態のまま行われた。

手指移動装置を使った指の移動に慣れる練習を行った後、干渉課題のみの練習、記憶課題と干渉課題を組み合わせた練習試行が、干渉条件ごとに行われた。記憶課題と干渉課題を組み合わせた練習試行では、音を合図に、実験者が実験参加者の人差し指を移動開始位置に誘導し、実験参加者がその箇所を押下した後、移動した指の移動方向をよく覚えておくことが求められた。その後、3種類の二次課題のいずれかが5秒間行われた。再び合図音が鳴り、記憶刺激と同じように指が移動した後、その指の移動方向が前に移動した指の移動方向と同じかどうかを「イエス」もしくは「ノー」と口頭で回答することが求められた。練習試行の際には、実験参加者の回答の正誤に対してフィードバックが行われた。つづいて、練習試行と同じように本試行が行われたが、この際には、正誤に対してフィードバックは行われなかった。

実験は干渉条件ごとに3ブロックに分けて行われた。各ブロックは16試行からなり、全48試行が本試行として行われた。また、ブロックの順番はカウンターバランスされていた。記憶課題と干渉課題を組み合わせた練習試行は、各ブロックの本試行の前に本試行と同じ8方向が1回ずつ、左上の方向から時計回りに順番に提示された。また、練習試行では、各象限につき2種類ある方向のうち一つが一致試行、もう一つが不一致試行に割り当てられ、一致と不一致の順番はどのブロックもすべて同じ順番であった。実験に要した時間は、およそ1時間半であった。

結果と考察

正答率に関して、参加者内1要因分散分析を行った結果、干渉条件の主効果が有意となった($F(2, 23) = 7.30, p < .005, \eta_p^2 = .24$)。ライオン法による多重比較の結果、身体運動干渉条件が眼球運動干渉条件($t(46) = 2.70, p < .01, d = .71$)および運動干渉なし条件($t(46) = 3.69, p < .001, d = .90$)よりも有意に正答率が低く、眼球運動干渉条件と運動干渉なし条件($t(46) = 0.99, n.s.$)の間に有意な差はなかった(Figure 4)。この結果は、身体運動によって選択的干渉効果が生じていることを示している。このことから、少なくとも、本実験で採用したような課題状況下では、身体運動のみが、空間情報のリハーサルに関与している可能性があることが示唆された。

Figure 4. Mean percentage of correct responses in each interference condition. Error bars represent standard errors.

実験 2

実験1では、遅延時間中に行われた二次課題のうち、身体運動干渉課題のみによって記憶課題の成績が損なわれるという、身体運動による選択的干渉効果が観察された。このような結果は、身体感覚によって符号化され、貯蔵された空間情報に対して、適切に手指を動かした場合に行われるはずのリハーサルが、不適切な動きを強いられることによって、十分には行われなかったために生じたのであろうと推測される。もし、そうであるならば、実験1とは逆に、記憶すべき空間情報に対応した、適切な手指の動きを行った場合には、むしろ保持された情報の減衰を抑えるという、リハーサル本来の機能を促すことになるであろうと期待される。したがって、もし、身体感覚によって符号化・貯蔵された空間情報に対して、身体運動のみがリハーサル機能を有しているのなら、眼球運動リハーサルと運動リハーサルなし条件の間には記憶成績に差がなく、身体運動リハーサル条件は両条件よりも記憶成績が高いという、選択的促進効果が生じると予測される。なお、リハーサル作業の効果が情報の減衰過程においてどの程度持続するのかわからないため、減衰初期にあたるリハーサル直後(0秒遅延)に再認を行う場合と、ある程度情報の減衰が進行した10秒後に再認を行う場合の2種類を用意することにした。

方法

実験参加者 視覚が正常であり、かつ右利きの大学生24名(男性10名、女性14名、平均年齢19.9歳)が実験に参加した。

装置 実験1と同じ装置が用いられた。また、各装置と実験参加者の位置関係も実験1と同様であった。

記憶課題 実験1と同じ記憶課題が用いられた。

Figure 5. Example of horizontal EOG trace in each rehearsal condition.

リハーサル条件 リハーサル条件では、実験参加者の手指の移動が終わった直後、1～2回ほど、眼球運動もしくは身体運動によって、そのドットの移動方向を確認する作業が行われた。

眼球運動リハーサル条件では、音を合図に目を開け、前に指がどの方向に移動したか、目を動かして確認することを求めた。その際、藤木・菱谷(2010)にならい、実験参加者が眼球を能動的に動かす作業を補助するための円が、ディスプレイ中央に提示された。この円は、幅5 mmの灰色の線によって描かれており、視角は9.6°であった。また、指の移動開始位置を示す点(黒色、直径視角およそ1°)が円の中心に提示された。参加者は、まずこの中心の点を見た後、円を基準として、前に提示された指の移動方向に眼球を動かして再現することで、リハーサルを行った。

身体運動リハーサル条件では、目を閉じたまま、音を

合図に、前に指がどの方向に移動したか、右手の人差し指を動かして確認することを求めた。このリハーサル作業では、刺激提示装置の上で、装置に指が当たらない程度に上に浮かした状態で、指を動かすことが求められた。

運動リハーサルなし条件では、実験1の運動干渉なし条件と同様の数唱課題が行われた。

EOG法による眼球運動の測定 眼球運動が実験1同様に記録された。全ての実験参加者において、眼球運動リハーサル条件では眼球運動が行われ、身体運動リハーサル条件および運動リハーサルなし条件では、眼球運動が生じていないことが確認された。各リハーサル課題中の、眼球運動の典型的な例をFigure 5に示す。

手続き 実験1同様、まず、手指移動装置を使った指の移動に慣れるための練習が行われ、その後、リハーサル課題のみの練習、記憶課題とリハーサル課題を組み合わせた練習試行が、リハーサル条件ごとに行われた。実験では、音を合図に、実験参加者の人差し指を移動開始位置に誘導し、実験参加者がその箇所を押下した後、移動した指の移動方向をよく覚えておくことが求められた。その後、2秒の間、三つのリハーサル作業のうちいずれかが行われ、直後再認では、音を合図に、再認のための指の移動がすぐに行われた。10秒後再認では、10秒間、運動リハーサルなし条件と同様の数唱が10回繰り返された後、再認のための指の移動が行われた。異同判断は、実験1同様に口頭で回答することが求められた。

リハーサル条件と遅延時間の組み合わせはブロック化され、計6ブロック設けられた。各ブロックは18試行からなっており、全108試行が本試行として行われた。各ブロックの前にリハーサルのみの練習と記憶課題とリハーサル課題を組み合わせた練習試行が行われた。記憶課題とリハーサル課題を組み合わせた練習試行は、実験1と同様に行われた。実験は、リハーサル条件ごとに3セッションに分けて行われ、各リハーサル条件の順番、および1セッション内での遅延時間の順番はカウンターバランスされていた。1セッションごとに5分の休憩がとられ、実験にはおよそ2時間を要した。

結果と考察

正答率についてリハーサル条件(眼球運動・身体運動・なし×遅延時間(直後・10秒後))の参加者内2要因分散分析を行った。その結果、遅延時間の主効果($F(1, 23)=47.00, p<.001, \eta_p^2=.67$)が有意となり、直後再認(83%)のほうが10秒後再認(72%)よりも記憶成績が高かった。また、遅延時間とリハーサル条件における交互作用($F(2, 46)=3.23, p<.05, \eta_p^2=.12$)が有意となった。交互作用についてさらに詳細に見ると、10秒後再認におけるリハーサル条件の単純主効果($F(2, 92)=5.22, p<.01, \eta_p^2=.10$)が有意となり、ライアン法による

Figure 6. Mean percentage of correct responses in each rehearsal condition for 0- and 10-sec delay. Error bars represent standard errors.

多重比較の結果，身体運動リハーサル条件のほうがリハーサルなし条件 ($t(92)=2.69$, $p<.01$, $d=.62$) および眼球運動リハーサル条件 ($t(92)=2.89$, $p<.01$, $d=.69$) よりも正答率が高く，眼球運動リハーサル条件とリハーサルなし条件 ($t(92)=0.20$, $n.s.$) の間には，有意な差はなかった．遅延時間に関する単純主効果の検定については，リハーサルなし，身体運動リハーサル，眼球運動リハーサルのすべての条件で有意となり（それぞれ $F(1, 69)=30.37$, $p<.001$, $\eta_p^2=.31$; $F(1, 69)=8.20$, $p<.01$, $\eta_p^2=.11$; $F(1, 69)=32.99$, $p<.001$, $\eta_p^2=.32$ ），いずれも 10 秒後再認より直後再認のほうが正答率が高かった (Figure 6)．

10 秒後再認におけるリハーサル条件に関する効果は，身体運動リハーサルによる選択的促進効果を示しており，これは，本実験のような状況下では，身体運動が，保持されている空間情報の減衰を抑えるというリハーサル機能を担っていることを示唆している．

また，藤木・菱谷 (2010) の実験 2 では，リハーサル条件および遅延時間の主効果のみが有意であった．一方，本研究では，リハーサル条件および遅延時間の交互作用効果が有意であり，直後再認におけるリハーサル作業の効果が生じず，10 秒後にのみ生じた．こうした違いが得られた背景には，本研究で使用された記銘刺激の空間解像度が藤木・菱谷 (2010) の研究に比べ，非常に粗いものであった点が挙げられる．つまり，本研究では，各象限に 2 種類の移動方向しかなく，その各方向も非常にわかりやすいものであった．したがって，記銘刺激の提示からほとんど時間が経過していない直後再認では，こうした単純な情報はほとんど減衰することなく，天井効果となり，リハーサル作業の効果が反映されなかった可能性が考えられる．

総合考察

本研究では，身体感覚的な符号のみによって空間情報の保持が行われると期待されるような課題状況を設定した場合，そのリハーサルには身体運動のみが関与するのか，それとも，眼球運動も関与するのかという問題が検討された．

実験 1 では，干渉効果の検討が行われ，身体運動による選択的干渉効果が見いだされた．すなわち，身体運動干渉条件下の記憶成績は眼球運動干渉や干渉なし条件の成績よりも有意に低く，眼球運動干渉と干渉なし条件の間には有意な成績の差はなかった．この結果は，本研究で採用されたような課題状況下では，空間情報のリハーサルに対し，手指の動きをコントロールする機能のみが関与していることを示唆するものと考えられる．

実験 2 では，指の移動方向を，再度，眼球もしくは手指の運動によって再現するというリハーサル法を用い，眼球運動によってリハーサルを行う条件と身体運動によってリハーサルを行う条件による促進効果を検討した．その結果，10 秒遅延という短期記憶内で情報が減衰しつつある条件では，身体運動リハーサルは，眼球運動リハーサルやリハーサルを行わない場合よりも記憶成績が有意によく，眼球運動リハーサル条件とリハーサルなし条件の間には記憶成績に差がないという，選択的促進効果が見いだされた．この結果から，身体感覚的な符号のみが必要とされる課題状況では，眼球運動ではなく，身体運動をコントロールする機能が，その情報の減衰を抑制するリハーサル機能を果たしていることが示唆された．

このような実験 1, 2 の結果から，おそらく身体感覚によって貯蔵されているであろう空間情報のリハーサルに対しては，従来の研究で考えられてきたような，眼球運動と身体運動の両者に共通した運動をコントロールする機能ではなく，むしろ身体運動をコントロールする機能のみが関与している可能性があると考えられる．

一方，藤木・菱谷 (2010) では，記銘と想起時のモダリティを身体感覚ではなく，視覚に限定した空間記憶課題を用いた場合，眼球運動による選択的干渉および促進効果が生じている．このことと本研究の結果を合わせて考えると，空間情報のリハーサルには，眼球や身体の動きをコントロールする機能が関与しているが，眼球の動きをコントロールする機能と身体の動きをコントロールする機能は，それぞれ個別に機能しているということが示唆される．従来の空間ワーキングメモリ研究では，空間情報をリハーサルするシステムとして，眼球運動と身体運動の両方に共通した，単一の運動制御システムが提案されてきたが，今後は，眼球運動系，身体運動系という二つの空間リハーサルシステムを組み入れたうえでの議論が必要であろう．

また、従来の空間ワーキングメモリ研究では、眼球運動と身体運動のいずれの干渉効果も一貫して観察されている。こうした結果に対し、従来の研究では、空間情報のリハーサル機能を担っている、両者に共通した単一の運動制御システムが妨害されたためであると解釈されてきた。しかし、本研究および藤木・菱谷(2010)の研究を踏まえた場合には、これとは異なる解釈が可能である。つまり、従来の空間ワーキングメモリ研究では、空間情報を視覚的にも身体感覚的にも保持する必要のある記憶課題が用いられていたために、眼球運動によって干渉が行われた場合には、視覚的に貯蔵された空間情報のリハーサルが阻害され、身体運動によって干渉が行われた場合には、身体感覚によって貯蔵された空間情報のリハーサルが阻害されるため、どちらの運動も、ともに記憶成績の低下をもたらしたのではないかということである。

このように、本研究および藤木・菱谷(2010)の研究から考えると、従来の空間ワーキングメモリ研究で生じた眼球運動と身体運動の両者の干渉効果に対し、個別のリハーサルシステムが関与していたと解釈することが可能である。ただし、こうした個別のリハーサルシステムが利用される状況については、さらに検討を重ねる必要があるだろう。つまり、本研究および藤木・菱谷(2010)の研究では、課題に関与するモダリティを一つに限定していたが、複数のモダリティを必要とする場合についても同様のメカニズムを想定できるかについては不明である。こうした課題状況としては、例えば、ある物体の移動を目で見た後、目を使わずに指を動かして、前に見た移動方向と同じかどうかを判断するような、記銘時と想起時のモダリティが異なる、視覚-身体感覚(もしくは、身体感覚-視覚)クロスモダル空間記憶が挙げられる。クロスモダル空間記憶の場合、想起時には、記銘時と異なる符号が利用されるため、両者の符号を一致させる過程が必要となる。しかし、こうした記銘時と想起時の異なる符号が利用される場合、情報がどのように保持されているのかについては、従来の空間ワーキングメモリ研究からも、本研究や藤木・菱谷(2010)の研究からも不明である。また、こうしたクロスモダル空間記憶の場合には、両者に共通した空間表象が形成される(e.g., Cattaneo & Vecchi, 2008)という指摘がある一方、課題に必要とされる符号が複数存在し、それらが互いに連携するようなネットワークを形成している可能性(Lacey & Campbell, 2006)も指摘されている。したがって、今後は、視覚と身体感覚の両方が関与するようなクロスモダル空間記憶についても、眼球運動と身体運動に共通したリハーサルシステムが機能しているのか、個別のリハーサルシステムが機能しているのかという問題を検討していく必要があると考えられる。

引用文献

- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Cattaneo, Z., & Vecchi, T. (2008). Supramodality effects in visual and haptic spatial processes. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, **34**, 631-642.
- Connolly, K., & Jones, B. (1970). A developmental study of afferent-reafferent integration. *British Journal of Psychology*, **61**, 259-266.
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: A tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, **37**, 1189-1199.
- 藤木晶子・菱谷晋介(2010). 空間記憶に及ぼす眼球運動の選択的干渉および促進効果: 身体運動との比較に基づいて 認知心理学研究, **8**, 23-31.
- (Fujiki, A., & Hishitani, S. (2010). Selective interference and facilitation effects of eye movements on spatial memory: Evidence gathered from comparisons with the effects of limb movements. *The Japanese Journal of Cognitive Psychology*, **8**, 23-31.)
- Hale, S., Myerson, J., Rhee, S. H., Weiss, C. S., & Abrams, R. A. (1996). Selective interference with the maintenance of location information in working memory. *Neuropsychology*, **10**, 228-240.
- Klauer, K. C., & Zhao, Z. (2004). Double dissociations in visual and spatial short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, **133**, 355-381.
- Lacey, S., & Campbell, C. (2006). Mental representation in visual/haptic crossmodal memory: Evidence from interference effects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **59**, 361-376.
- Lawrence, B. M., Myerson, J., Oonk, H. M., & Abrams, R. A. (2001). The effects of eye and limb movements on working memory. *Memory*, **9**, 433-444.
- Postle, B. R., Idzikowski, C., Della Sala, S., Logie, R. H., & Baddeley, A. (2006). The selective disruption of spatial working memory by eye movements. *Quarterly Journal of Ex-*

- perimental Psychology*, **59**, 100–120.
- Quinn, J. G., & Ralston, G. E. (1986). Movement and attention in visual working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, **38A**, 689–703.
- Salway, A. F. S., & Logie, R. H. (1995). Visuo-spatial working memory, movement control and executive demands. *British Journal of Psychology*, **86**, 253–269.
- Smyth, M. M., Pearson, N. A., & Pendleton, L. R. (1988). Movement and working memory: Patterns and positions in space. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **40A**, 497–514.
- Smyth, M. M., & Pendleton, L. R. (1989). Working memory for movements. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **41A**, 235–250.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions, and objects in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **27**, 92–114.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **32**, 1436–1451.
- (2010年10月19日受稿, 2011年3月30日受理)