

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：82401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K17324

研究課題名(和文) 運動制御時における視覚表象と身体表象の相互作用の解明

研究課題名(英文) Interaction between visual and body representation for motor control

研究代表者

村越 琢磨 (Murakoshi, Takuma)

国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・研究員

研究者番号：70624724

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：運動制御事態において視覚系が用いる表象と運動系が用いる表象の違いと、その相互作用について境界拡張実験パラダイムを用いて検討した。その結果、視覚系と運動系では参照する表象の大きさなどに違いがみられ、視覚課題での知覚された境界位置は運動制御課題において知覚された境界位置に比べ拡張される傾向が示された。また、視覚情報によって運動を誘導するような視覚運動協心事態では、実際の物理的大きさとは異なる視覚表象を補正することによって、運動制御を実現するようなメカニズムが存在することが示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, by the use of the boundary extension, we tested whether the visual representation would be modified when observer engages a motor controlling task. Specifically, we investigated whether boundary extension is obtained even in motor controlling task. If boundary extension occurs in motor controlling task, we examined the difference in the boundary extension between the visual task and motor controlling task. We found that, as same as when we judge the size of perceived area with only use of visual feedback (visual task), the size of perceived area varies with visual angle of image when we judge by finger touch (motor controlling task). However, the reported area with motor modality tends to be smaller than that with visual modality. Our results suggest that although the representation for visual and motor system are based on the same representation forming process, the representation for voluntary action would be modified via execute processes of action controlling.

研究分野：実験心理学

キーワード：境界拡張 視覚運動協応

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレット端末の普及により、タッチパネルモニタを用いた機器操作が求められる場面が拡大してきた。物理的に設置され、位置が固定されたボタンを押す従来の方法とは異なり、タッチパネルモニタでは、視覚的に呈示された特定範囲に接触することで、操作を行う。物理的なボタンでは、設置される位置や大きさなどは固定であるのに対し、タッチパネルモニタ上の操作領域は、位置や大きさが可変である。このため、例えば、『次へ』といった同じ操作を求める場合でも、操作領域は異なる空間位置や大きさで呈示される。このようなタッチパネル上での操作では、触覚情報により操作領域を特定することは不可能で、視覚情報のみから操作領域を特定しなければならぬ。

しかし、我々の視覚系は環境の物理的な大きさや距離を必ずしも正確に知覚しているわけではない。このような知覚と物理的な空間構造のずれを示す現象として「境界拡張」という現象が報告されている。境界拡張とは、画像の呈示後に、その画像を想起する際、観察者が呈示された境界よりも外側に境界が存在したと感じ、呈示画像よりも広範囲な領域を知覚したと報告する現象である (Intraub & Richardson, 1989, 図 1)。



図 1 実際の呈示画像 (上段) よりも、広範囲な領域が知覚されたと報告される (下段)。 (Intraub & Richardson, 1989)

特に、背景上にオブジェクトが存在するような自然画像において、拡張が顕著に生じる。境界拡張は画像の消失後 1s から 50ms でも生じ、記憶された表象の改編というよりも、感覚入力直後の表象の形成過程で生じると考えられる (Bertamini et al., 2005; Dickinson & Intraub, 2008; Intraub & Dickinson, 2008; Intraub et al., 1996, 2006)。ここで、視覚入力により形成された表象が物理的な空間構造と異なるということは、タッ

チパネルモニタ上に視覚的に呈示された操作領域の位置や大きさなどの空間構造が正確に知覚されないことを意味する。

今、タッチパネル上の操作領域に対してポインティングを行う事態を考えてみる。運動制御では、視覚入力によって身体運動をナビゲートし、目的のアクションを達成する。この時、ナビゲーションに用いられる視覚表象に対して境界拡張が生じると、それに応じてポインティングも不正確となるはずである。しかしながら、視覚表象の形成時と運動制御時において視覚情報の処理様式が異なる可能性もあり、この場合には視覚表象での境界拡張度合と運動制御時のポインティング精度は等しくならぬだろう。日常生活での我々のポインティング精度を考慮すると、運動制御時になんらかの視覚表象の補正が行われている可能性が十分に考えられる。そこで本研究では、境界拡張現象を用い、視覚入力により形成された表象と運動制御時に用いられる身体表象の相互作用、特に、運動制御時の視覚表象の補正メカニズムを解明することで、正確で円滑なポインティングを実現するような、視覚情報提示の規定要因を明らかにすることを目的とした。

2. 研究の目的

運動制御時の視覚表象と身体表象の相互作用を解明するにあたり、本研究期間内では、特に、(1) 視覚表象の形成時と運動制御時における視覚情報入力の処理様式の違い及び相互作用を検証し、(2) 運動制御時の視覚表象の補正を促す規定要因を特定することで、(3) 円滑な運動制御を促進する視覚情報の呈示方法を明らかにすることを目的とした。

視覚表象形成時と運動制御時の視覚情報処理の相互作用を検証するため、はじめに、視覚表象が身体表象に及ぼす影響を明らかにすることを目指した。境界拡張は物体中心系座標に基づき視覚表象の拡張が生じると考えられるが、運動制御に用いられる身体表象は自己中心座標系に基づく。運動制御時における身体表象と視覚表象が独立ならば、ポインティングなどの運動制御に境界拡張の影響は見られない。しかしながら、運動の視覚ナビゲーションには、視覚入力情報と体性感覚情報の統合が必要であり、さらに、境界拡張は視覚場面の知覚の際に生成される表象内で生起するため (Intraub, 2004; 2010)、視覚表象形成時の境界拡張が運動制御時の身体表象に影響することが予想される。そこで、視覚入力よりも広範な領域が想起された場合に、その視覚表象が運動制御に対して及ぼす効果を心理物理学的測定法により検証することとした。

視覚表象における境界拡張が運動制御に用いられる身体表象にも及ぶのであれば、境界拡張の度合いに応じて、運動制御時に到達座標のずれが生じると仮説を立て、検証を開始した。境界拡張が生じない場合には視覚表

象と運動制御に利用される身体表象は独立であることが示され、境界拡張が生じる場合には、身体表象も境界拡張の影響を受けることが示される。ここで、運動制御に対しても境界拡張が示されたならば、次に、物体中心座標系に基づく表象が、どのようにして自己中心座標系に基づく表象をナビゲートし、その際、どのような補正が行われているかを明らかにすることとした。

3. 研究の方法

裸眼または矯正視力により正常な視力を有した成人男女を実験参加者とした。刺激として背景上に一つまたは複数のオブジェクトが配置された自然な情景の画像を複数枚用意した。これらの画像（オリジナル画像：図 2A）はフルスクリーンで画面に呈示した場合には、観察距離 35cm で視角 61.29 × 49.25 度であった。さらに、画像の刺激サイズを操作するために、黒い覗き窓をオリジナル画像に重ねて呈示し、可視範囲を変えることで刺激サイズを変更した（テスト画像：図 2B）。この覗き窓の大きさを変え、オリジナル画像の可視範囲を操作することで、刺激画像のサイズを変更すると同時に刺激画像の画角を操作した。つまり、覗き窓を大きくすることでワイドアングルの画像に、覗き窓を小さくすることで、クローズアップの画像を作成することを可能にした。

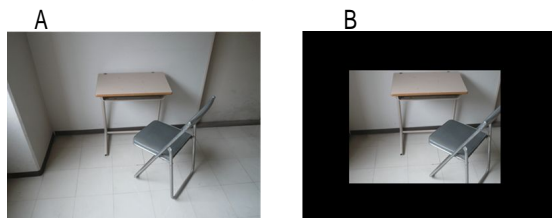


図 2 刺激画像の例。フルスクリーンイメージで呈示されるオリジナル画像(A)と、覗き窓により可視範囲と画角を操作したテスト画像(B)の例。

観察距離は、予備実験によって、画面の観察および画面へのポインティングの両方が可能な最適範囲とされた 35 cm とした。試行が開始されると画面中央に凝視点が 1s 呈示された後、テスト刺激が 3s 呈示され、実験参加者はテスト刺激を記録する（記憶フェーズ）。次に、マスク刺激が 1s 呈示される。この呈示時間は、アイコニック・メモリの消失、および境界拡張の生起に十分な時間 (Intraub, 2010) として設定された。その後、画面に選択肢が二つ呈示され、実験参加者はテスト刺激に含まれていたオブジェクトを選ぶ（再認フェーズ）。これは、実験参加者が視覚場面を観察せずに、刺激の境界位置のみを記憶する方略を防ぐためである。最後に、テスト刺激のオリジナル画像が遮蔽領域なしで呈示され、実験参加者は、オリジナル画

像上のどこに境界が存在したかを報告した（テストフェーズ；図 3）。視覚条件では、テスト刺激の境界位置から $\pm 20, 30$ または 40% 離れた位置に黒い線分が呈示され、実験参加者は、キー押しによって境界を知覚した位置に線分を調整した。運動条件では実験参加者は上下左右の境界が存在したと思われるオリジナル画像上の位置をポインティングした。視覚条件と運動条件の両条件で刺激サイズ 3 水準について測定を行った。運動条件では実施に先立ちキャリブレーション課題を行った。キャリブレーション課題では、テスト画像の境界の midpoint となる位置に光点を呈示し、実験参加者はその光点を可能な限り正確にポインティングした。この座標とポインティングのずれを各実験参加者の運動制御の精度とした。

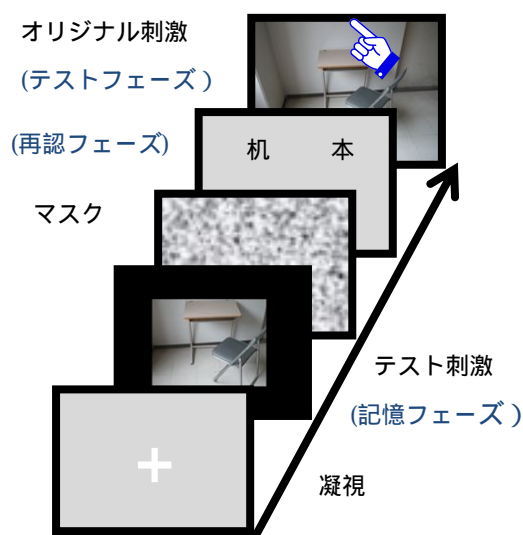


図 3 試行のイベントスケジュール

4. 研究成果

(1) 視覚課題と運動課題の両課題において、画角の変化に従って知覚される境界の位置が変化した（図 4）。具体的には、画角が小さくなるほど（画像がクローズアップになるほど）、知覚される境界位置は拡張方向に位置し、画角が広がるほど（画像がワイドアングルになるほど）、知覚される境界位置は縮小方向に位置された。つまり、視覚課題だけでなく、運動課題においても境界拡張および境界縮小が生じ、その拡張または縮小傾向は視覚課題と運動課題で共通の傾向が示された。しかしながら、運動課題において知覚された境界位置は、視覚課題のそれと比べ、縮小方向に位置し、知覚された画像面積は視覚課題に比べ、小さかった。この傾向は、どの画角条件においても同じであった。この結果は、運動制御実行中であっても錯視は生じること、さらに、運動課題と視覚課題で用いられる表象は、その形成過程において共通のメカニズムを用いていること、加えて、運動制御課題中に、視覚表象を修正するメカニズム

が存在することを示唆するものである。

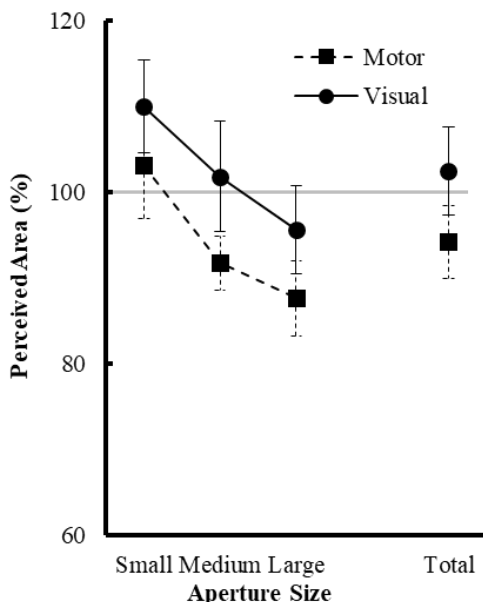


図4 覗き窓の大きさを操作した場合の視覚課題と運動課題における知覚された領域の広さ。横軸は覗き窓の大きさを示し、縦軸は知覚された領域の面積をオリジナル画像との比率で表したものである。

先行研究では知覚のための視覚 (vision for perception) とアクションのための視覚 (vision for action) はかい離した処理過程であり (Goodale, 1998), 同じ錯視図形を観察した場合でも, アクションを伴う場合には錯視が生じないという実験結果が報告されている (Aglioti, et al., 1995; Ganel, et al., 2008)。今回の結果は, アクションのための視覚であっても, 知覚のための視覚と同様に錯視が生じることを示したことで, 両視覚システムがかい離したメカニズムであるという考えに一石を投じるものである。さらに, 両視覚システムは表象の形成過程において共通の基盤を有していることが示唆され, 運動制御に用いられる視覚表象の形成過程の解明に足掛かりを与えるものとなった。また, 運動制御を行う際には, 視覚表象を修正するようなメカニズムが存在することが示唆されたことから, 運動を遂行するために運動制御のどの段階においてどのように視覚表象を修正していくのかを解明していくことが今後の重要な課題になってくる。

(2) 刺激画像にオブジェクトを含んだ情景画像を用いる代わりに, 単色の四角形を用いて, 運動系の境界拡張に対して情景が果たす役割を調べたところ, 情景画像を用いた場合とは異なり, 明確な境界拡張は生じなかった。このことは, 自然な情景画像に含まれる情報

が, 視覚系および運動系での視覚表象の境界位置を拡張方向に引き延ばす役割を担っていることを示唆する。Goodale ら考えではアクションのための視覚は背側経路を経由するとされており, オブジェクト情報を処理するような腹側経路とは別の経路が仮定されている (Goodale, 2014)。しかしながら, 情景に関する情報が境界位置に効果を持つことが示され, 運動制御を行う際には, 背側経路からの情報だけでなく, オブジェクト情報を利用しながら表象の境界位置が設定される可能性が示された。このことより, 運動制御を行う際の表象形成過程において, オブジェクト情報が前運動野などへ伝達される経過において, 表象が修正を受けるという道筋が示される。今後は, この過程において, 視覚系と運動系に利用される表象がどのように分岐, あるいは統合されていくかを解明していく必要がある。

(3) 運動制御を行う際に物体中心座標系から自己中心座標系へ座標変換をすることが, 情景中のオブジェクトの大きさや位置の知覚に影響するのではないかという問題を調べた結果, 運動課題では視覚課題に比べ, オブジェクトの大きさを過大視する傾向がみられた。この傾向は物体中心座標系においてオブジェクトの位置が移動した場合でも, 自己中心座標系において座標が移動した場合でも同様の結果であった。オブジェクトの位置の知覚については, 運動課題においては座標移動の効果が見られなかったのに対し, 視覚課題では物体中心座標系での位置移動により, オブジェクトの位置知覚にずれが生じる結果となった。これらの結果は, 大まかにいえば, 視覚系はオブジェクトの大きさ知覚において, 運動系よりも精度が高い傾向があり, 運動系はオブジェクトの位置知覚に対して視覚系よりも精度が高いと言える。この両系のオブジェクトの大きさ知覚の違いは, その後の, 情景中にオブジェクト配置する段階において修正を受け, 結果として運動課題における境界位置の縮小を引き起こすと考えられる。また, オブジェクトの位置に関しては, 運動系が物体中心座標系と自己中心座標系の両方を参照して位置判断を行うのに対し, 視覚系は物体中心座標系を用いて位置判断をすることが示された。このことから, 情景などを知覚するには, 画像の境界位置と情景内のオブジェクトの大きさは別々に処理された後に, それらを統合し情景内にオブジェクトを配置することによって, 情景の表象を形成することが示唆される。この時, 背景とオブジェクトを統合するにあたって, オブジェクトの大きさや位置によって, 画像の境界位置が調整されるために, 境界拡張が生じ, 運動系と視覚系ではオブジェクトの大きさ判断が異なるために, 知覚される境界位置にも違いが生じると考えられる。

(4) 本研究の成果で特に重要なことは以下にまとめられる。まず、これまで境界拡張の生起については、モダリティ間の情報が統合される過程が関与しているとの示唆はあったが(Intraub, 2004; 2010), 本研究では新たな実験パラダイムを考案することによって、情景の背景とオブジェクトの表象形成過程が異なることを示し、境界拡張の生起メカニズムの解明を推し進めることができた。

また、運動課題においても大きさの錯視が生じることが示され、アクションのための視覚では錯視が生じないとされてきた従来の考えを修正する必要がでてきた。このことは、視覚誘導性の運動制御においては、視覚系と運動系で用いられる異なる視覚表象を統合する際に、オブジェクトの大きさや位置といったパラメータの整合性を保つように修正するメカニズムが存在し、このメカニズムの解明が今後の視覚運動協応事態の研究をさらに進展させていくものと思われる。

さらに、この一連の実験で用いられた、視覚課題と運動課題での座標移動の操作は、覗き窓により画像の一部を遮蔽するという実験手続きを応用して考案された。すなわち、覗き窓の位置の操作と、覗き窓から見える可視範囲の位置を片方だけ、あるいは両方を同時に変化させることにより、物体中心座標系での位置移動と自己中心座標系での位置移動を操作することを可能にした。この実験手続きにより、運動制御に伴う座標変換の効果を量的に操作することが可能になり、今後の運動制御中の視覚表象の形成メカニズムの解明を目指す研究に大きな寄与をもたらすものと思われる。

応用的な面では、視覚系と運動系によって画像の大きさ判断が異なることが示されたことから、タブレットやスマートフォンなどのタッチパネルデバイス上にアイコンなどの視覚情報をデザインする際には、アイコンをただ見る場合と、そこにタッチする場合は、知覚される大きさが異なることを考慮し、アイコンの大きさや間隔を適切に設定していくことが重要であることが示された。

<引用文献>

Aglioti, S., DeSouza, J., & Goodale, M.A. (1995). Size-contrast illusions deceive the eyes but not the hand, *Current Biology*, 5, 679-685.

Bertamini, M., Jones, L.A., Spooner, A, & Hecht, H. (2005). Boundary extension: The role of magnification, object size, context, and binocular information, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(6), 1288-1307.

Dickinson, C.A. & Intraub, H. (2008). Transsaccadic Representation of Layout: What is the Time Course of Boundary Extension?, *Journal of*

Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 34, 543-555.

Ganel, T., Tanzer, M., & Goodale, M.A. (2008). A double dissociation between action and perception in the context of visual illusions: opposite effects of real and illusory size, *Psychological Science*, 19, 221-225.

Goodale, M.A. (1998). Where Does Vision End and Action Begin?, *Current Biology*, 8, R489-R491.

Goodale, M.A. (2014). How (and why) the visual control of action differs from visual perception, *Proceedings of The Royal Society B*, 281 (1785), 20140337.

Intraub, H. (2004). Anticipatory Spatial Representation in a Deaf and Blind observer, *Cognition*, 94, 19-37.

Intraub, H. (2010). Rethinking Scene Perception: A Multisource Model, *Psychology of Learning and Motivation*, 52, 231-264.

Intraub, H. & Dickinson, C.A. (2008). False Memory 1/20th of a Second Later: What the Early Onset of Boundary Extension Reveals About Perception. *Psychological Science*, 19, 1007-1014.

Intraub, H., Gottesman, C.V., Willey, E.V., & Zuk, I.J. (1996). Boundary Extension for Briefly Glimpsed Photographs: Do Common Perceptual Processes Result in Unexpected Memory Distortions?, *Journal of Memory and Language*, 35, 118-134.

Intraub, H., Richardson, M. (1989). Wide-Angle Memories of Close-Up Scenes, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(2), 179-187.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 9件)

村越琢磨・木村英司・一川 誠, 視覚課題と運動課題を用いた境界拡張現象に対する座標移動の距離の効果, 2016年10月30日, 日本基礎心理学会 第35回大会, 東京女子大学(杉並区・東京都)

Murakoshi, T., Kimura, E. & Ichikawa, M., How is the remembered area of scenes affected by location shift in object-centered and ego-centered coordinates?, 2016/08/29, The 39th European Conference on Visual Perception, Barcelona (Spain)

Murakoshi, T., Kimura, E. & Ichikawa, M., The effects of location shift in object-centered and ego-centered coordinates on the boundary extension in visual and motor task, 2016/07/27,

The 31st International Congress of Psychology, PACIFICO Yokohama (Yokohama, Kanagawa)

Murakoshi, T., Kimura, E. & Ichikawa, M., Boundary location of remembered area is determined based on object-centered coordinates, 2016/05/17, 2016 VSS Annual Meeting, St. Pete Beach (USA)

村越琢磨・木村英司・一川 誠,異なる座標系での位置変化が視覚課題と運動制御課題遂行中の境界位置判断に及ぼす効果, 2016年1月22日,日本視覚学会2016年冬季大会,工学院大学(新宿区・東京都)

村越琢磨・木村英司・一川 誠,運動制御時における視覚表象に対する座標変換の効果の検討,2015年11月28日,日本基礎心理学会第34回大会,大阪樟蔭女子大学(東大阪市・大阪府)

村越琢磨・木村英司・一川 誠,視覚課題と運動課題遂行下での境界拡張の生起,2015年9月24日,日本心理学会第79回大会,名古屋国際会議場(名古屋市・愛知県)

村越琢磨・木村英司・一川 誠,情景を含む画像と含まない画像に対する動制御下での境界拡張,2015年7月28日,日本視覚学会2015年夏季大会,東京工業大学大岡山キャンパス(目黒区・東京都)

Murakoshi, T. & Ichikawa, M. The effects of motor control on the perception of the boundary of photographic image,2015年6月18日, The 1st International Conference on Advanced Imaging, National Center of Science, (Chiyoda-ku, Tokyo)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村越 琢磨 (MURAKOSHI, Takuma)

国立研究開発法人理化学研究所・脳科学総合研究センター・研究員

研究者番号: 70624724