

# 仮想道具による身体像拡張の評価手法に関する研究

渡辺 貴文<sup>\*1</sup> 片山 智文<sup>\*1</sup> 上杉 繁<sup>\*2</sup> 三輪 敬之<sup>\*3</sup>

## Evaluation method on expansion of body image enhanced by use of virtual tool

Takabumi Watanabe<sup>\*1</sup>, Tomofumi Katayama<sup>\*1</sup>, Shigeru Wesugi<sup>\*2</sup> and Yoshiyuki Miwa<sup>\*3</sup>

**Abstract** - We have developed interface systems that can provide a user a sense of expansion of body image toward a virtual tool, and we have evaluated the validity on subjective evaluation method such as questionnaire survey. In this research, based on the cross modal interference paradigm designed by Maravita, we propose a quantitative evaluation method on what extent to expansion of body image can be enhanced by use of our virtual tool. The experiment results show that actively wielding virtual tool can influence visual-tactile integration. This indicates our virtual tool can enhance an expansion of body image.

**Keywords** : cross modal interference, virtual tool, expansion of body image, quantitative evaluation

### 1. はじめに

我々は、自分の手や足といった身体の各部位の位置関係を、自分の目で見なくとも、把握することができる。このような、身体に関する空間知覚の働きの意識的な表象を「身体像」と呼ぶ<sup>[1]</sup>。自身の身体に対するイメージは、例えば、我々の野球のバットやテニスラケットなど、その長さや大きさを意識することなくあたかも自分の身体の一部であるかのようにボールを打ち返すことができるように、ダイナミックに変化する。こうした道具の使用時において、その道具の先端にまで身体像が拡張されることが、入来らのサルを用いた実験によって神経生理学的に示されている<sup>[2]</sup>。

一方、著者らはこれまでに、実体の道具とのインタラクションを介して、映像空間における道具を操作することが可能なインタフェースを開発し、自身が映像空間中の道具を操作しているかのような感覚が創出することを明らかにしてきた<sup>[3]</sup>。

これらの結果から、実体の道具と仮想的な道具を統合することで、自身の身体を仮想空間にまで拡張できる可能性が見出されたため、著者らは先に、自身の身体が行っている現場と映像空間とを非分離に接続するためのインタフェースを提案した<sup>[4]</sup>。このシステムは、自身の手で握るグリップ部が実体であり、その先の柄の部分は、グリップから仮想的な道具が伸びているように、映像の道具を、整合的にプロジェクタによりテーブル上へ投影、重畳表現が可能である。そして、仮想道具への身体像の拡張感の評価として、アンケートなどによる主観的な評価によってその有効性を明らかにしてきた。

その他の関連研究として、仮想空間内で道具を利用した様々なインタフェースが提案されているものの<sup>[5]</sup>、作業における正確性や効率性にのみ着目しており、身体像の拡張という視点からの評価やその手法についてはあまり十分に研究が行われていない。

そこで、本研究では先に提案した実体の道具に仮想道具を映像重畳するインタフェースにおいて、身体像の拡張感を創出するかについて客観的に評価する手法を提案する。

### 2. 研究方針

本評価手法の手掛りとして、まず、先に挙げた入来の示したサルの道具使用と身体像の拡張に関する知見に着目した。入来はサルの頭頂連合野における手の体性感覚受容野と手近傍の視覚受容野を持つパイモダルニューロンの活動を調べることにより、サルの身体像の道具先端への拡大を実験的に検証した。

そこで、この電気生理学的手法を人間に適用すれば、原理的には自身の身体が映像による仮想道具の使用によってどれだけ拡張したか、ということに対し客観的な評価を与えることができる。しかし、この手法は侵襲的なアプローチであり、人間に適用し実験を行うことはできない。一方、fMRIを用いた脳機能画像解析による、仮想的な道具の使用法を学習していく過程における脳の賦活状況を調べた非侵襲的な研究例も見られるが<sup>[6]</sup>、身体像の拡張という観点からの研究は行われていない。

そこで著者らは、実体の道具の利用における身体のはたらきについて研究するために、Maravita が提案している cross modal interference 実験手法に着目した<sup>[7]</sup>。この実験手法は、手にした道具の先端の視刺激によって、手元の触刺激が影響を受けること、すなわち、道具の利用による視・触覚統合への影響に着目した手法である。

その実験の概要を以下に述べる。ゴルフクラブ状の道具のグリップ部上下に取り付けた振動子による触刺激の

\*1: 早稲田大学大学院 理工学研究科

\*2: 早稲田大学 先端科学・健康医療融合研究機構

\*3: 早稲田大学 理工学術院

\*1: Graduate School of Science and Engineering, Waseda University

\*2: Consolidated Research Institute for Advanced Science and Medical Care, Waseda University

\*3: Science and Engineering, Waseda University

位置判別タスクを被験者に課す。この際に道具の先端上下に取り付けた LED による視刺激を与え、タスクの反応時間、正誤率を算出することことで、道具から与えられる視刺激の影響を調べる。両手に同じ道具を把持しているだけの場合と道具を実際に操作し使用した場合を比較すると、道具を使用した条件のときのほうが、より触刺激の判別に視刺激からの影響を受ける。また、例えば左手側への触刺激判別は左手側の道具に付いている LED の視刺激に影響を受けるが、右手側の道具に付いている LED の影響は受けないという結果が示されている(図 1)。

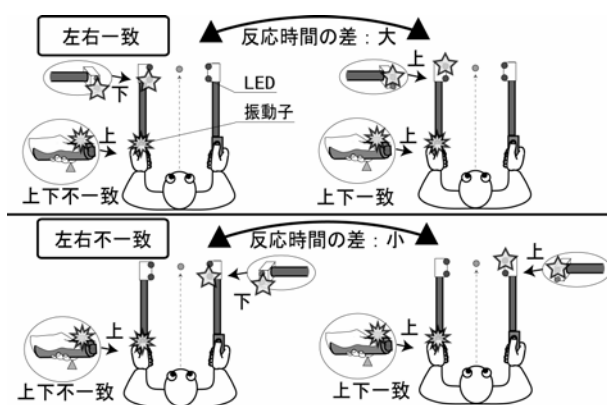


図 1 Maravita の提案した道具使用における cross modal interference 実験<sup>[7]</sup>

Fig.1 Maravita's cross modal interference experiment in actively wielding tools

このような実験結果は、道具の使用によって、道具の先端における視刺激と道具を把持している手元への触刺激の統合に、身体のはたらきが影響していることを示している。すなわち、この実験結果は入来を示したサルへの道具への身体像拡張に関する知見と現象的に一致するとみなされるから、道具使用により自己の身体像を道具の先端まで拡張している効果として捉えることができる。

したがって、道具を使用する cross modal interference 実験手法は身体像の拡張を客観的に評価できる可能性がある。すなわち、この実体を持つ道具に対する実験手法を仮想道具に対して用いたとき、同様の結果が得られれば、仮想道具を使用した際の身体像の拡張を客観的に評価することが出来ると著者らは考えるに至った。そこで、この仮説を基に、仮想道具における cross modal interference 実験手法を考案することとした。

### 3. 実験システム

Maravita の cross modal interference 実験手法をふまえ、それを仮想道具による身体像拡張の評価に適用するためには、以下の要件を満たすシステムの開発を新たに行う必要がある。

被験者に振動子による触刺激と LED による視刺激の組み合わせをランダムに提示

被験者が触刺激判別を行っている際に、その反応時間・正誤率などを計測

cross modal interference 実験手法では被験者の反応時間はミリ秒単位であると分かっており、それを満たすフレームレートになるように、PC への送受信を含めた上記の一連の流れを実行できるシステムが必要である。

次に、本実験システムでは映像道具の先端がスクリーン上に平面的に表現されるため、道具先端に視刺激を上下に発生させるための工夫が必要である。また、仮想道具の映像が把持するグリップから伸びるような重畳表現を行うためには、グリップの位置姿勢を正確に把握するセンシングシステム、そのデータをもとに仮想道具の映像を生成し表示するディスプレイシステムが必要となる。

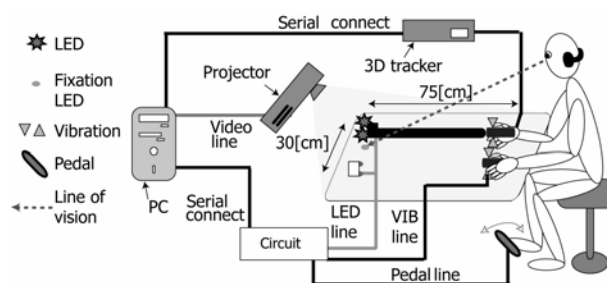


図 2 実験システム

Fig.2 Experiment System

先の要求諸元を満たすべく以下の実験システムを構築した(図 2)。本実験システムは、振動子 (20×3[mm], 定格電圧 1.3[V], 定格電流 65[mA]) を上下二つ取り付けたグリップ (45×160[mm]), LED (11[mcd] red LED) を上下に二つ取り付けたボックス (40×25×60 [mm]), 映像投影するためのプロジェクタとスクリーン (840×1000[mm]), グリップの位置・姿勢を計測するための三次元トラックセンサ、仮想道具・ポイントなどの映像生成のための PC, さらに実験における視触刺激の生成と触刺激の判断時間を計測する PC から構成されている。また視線が左右に動くことで判断時間に影響が出ないように、視線固定用の LED (50[mcd] green LED) を左右の視刺激用の LED の中央に配置した。

cross modal interference 実験手法のための視触覚提示部は以下の通りである。LED を上下に付けたボックスを、上下に振動子が内蔵してあるグリップから離れた位置に設置する。この LED ボックスにより視刺激の上下を表現できる。実験が始まると PC で視触刺激の組み合わせをランダムに生成する。さらにそのランダムな組み合わせを生成したときに反応時間の計測を行い、LED・振動子の制御回路へ視触刺激の組み合わせをシリアル通信 (9600[bps]) する。制御回路では LED の点滅 (100[ms] 周期, 三回周期) とそれより 30[ms] 遅く振動子の振動 (100[ms] 周期, 三回周期) のための信号を生成する。30[ms] の時間差は cross modal interference が一番顕著に現

れるとされている<sup>[7]</sup>。そして被験者が触刺激位置を足元のペダルにより判別し、制御回路へ被験者が上下どちらの触刺激と判別したか信号を送信する。その信号を PC ヘシリアル通信し、PC では被験者の判別の信号が送られた時点で反応時間を計測する。

次に、仮想道具の映像を生成しグリップへ重畳表示するディスプレイシステムについて述べる。すなわち、グリップのすぐ下に水平にスクリーンを配置し、水平スクリーンの間近には三次元トラックセンサのトランスミッタが設置してある。グリップには三次元トラックセンサのレシーバが取り付けられており、これによりグリップの位置・姿勢を測定することが出来る。取得された位置姿勢データはシリアル通信を介して PC に送られ、これを基に整合的に映像重畳が行えるように仮想道具画像が生成される。生成された仮想道具画像はグリップからあたかも仮想道具が伸びたかのように表現するため、プロジェクタを用いてグリップに重なるように仮想道具が上方から映像投影され、さらに真下の水平スクリーンへ仮想道具のグリップから伸びた部分の映像が投影される。

#### 4. 実験方法

まず、被験者は実験に先立って道具使用による視触覚統合の働きを強めるため、道具による指示作業を約 2 分間行ってもらう。次に被験者は仮想道具の映像が重畳表示されているグリップを保持する。親指と人差し指でそれぞれ振動子を触り、右・左手に関わらずどちらの指が振動子により触刺激されたかを足元のペダルのよって判別する。視刺激として両グリップ先端の向く延長線上(75 [cm]) に LED を内蔵するボックスを置く。なおこのボックスは視線固定用の LED から 15 [cm] ずつ離れている。実験では左右上下四通りの触刺激のいずれかと、それより 30 [ms] 先行して左右上下四通りの視刺激のいずれかがランダムに与えられる。被験者には視線固定用の LED を見るように指示する。また振動子の振動音が実験結果に影響を及ぼさないように、ホワイトノイズが流れているヘッドホンを装着してもらい、外部の音を遮断する。実験は視覚刺激提示から被験者の位置判別信号の取得までを 1 フェーズとし、20 フェーズ行う。20 フェーズのタスクの繰り返しを 1 ターンとすると、仮想道具を持つ手を左右換え、4 ターンずつ行う。すなわち被験者は 160 フェーズ分の位置判別作業を行うことになる。

触刺激位置判断の反応時間データを、Maravita が提案した“effect”という量に換算することで客観的評価を行う。“effect”とはグリップにより道具を持つ手に与えられる触刺激の上下位置と、その道具の先端に与えられる視刺激の上下位置が不一致のときの反応時間と一致したときの反応時間の差分と定義されている。この“effect”には以下のような意味がある。まず、差分することにより、触刺激に対してペダルを操作する反応時間がキャンセル

され、視刺激の影響によりどれだけ反応時間遅れたかを純粋に抽出できるということ。次に本質的な意味として刺激位置関係が、不一致の際の感覚統合への影響であるということである。実際、Maravita による実験の場合は道具の先端の視刺激により反応時間が遅くなるという現象が報告されている。また、グリップに与えられる触刺激と視刺激が与えられる左右が不一致の場合において、感覚統合妨害の影響が小さくなると考えられ、この左右不一致の際の“effect”と、視触覚刺激が左右が一致したときの“effect”とを比較することで、同一実験条件内において道具によってどれだけ感覚統合妨害の影響があったかを評価することが出来る。

まず、仮想道具による身体像の拡張に関する影響のみを抽出することが必要である。仮に両手に仮想道具を把持して実験を行ったとすると、それが映像による影響なのか、把持しているグリップによる影響なのかがわかりにくい。そこで反対の手にグリップのみを把持させることで、グリップのみを把持した場合の cross modal interference の影響を同時に調べることにした。これにより道具あるいは仮想道具がグリップのみに対しどれだけ視触覚の統合に影響を及ぼしているかを比較することが出来る。以上に基づき、以下の二つの条件で実験を行う。( ) 片手に実体の「道具」、もう片手には「グリップ」のみ把持する(図 3(a))。( ) 片手に仮想的な棒の映像を重畳したグリップ(以下「映像棒」とする)、もう片手には「グリップ」のみ把持する(図 3(b))。



(a) 条件( ) : 実体を持つ道具 (b) 条件( ) : 映像棒

図 3 二つの条件下における実験の様子

Fig.3 Scenes under two experimental conditions

#### 5. 実験結果と考察

まず、本実験システムが cross modal interference 実験手法に有効であるかを確認することにした。そこで Maravita と同様の実験<sup>[7]</sup>を行った。被験者 5 名による実験の結果 “effect” の値は Maravita と同様の傾向となった(図 4)。このことは本実験システムにより cross modal interference が実現されていることを少なからず示すものである。次に、本実験システムで健常な成人男性 12 名を対象に実験を行った。その実験結果を以下に示す。本実験は被験者の反応時間を計測し、それぞれの cross modal interference effect の比較を行った。( ), ( ) の条件にお

ける cross modal interference effect を以下の図 5 に示す。

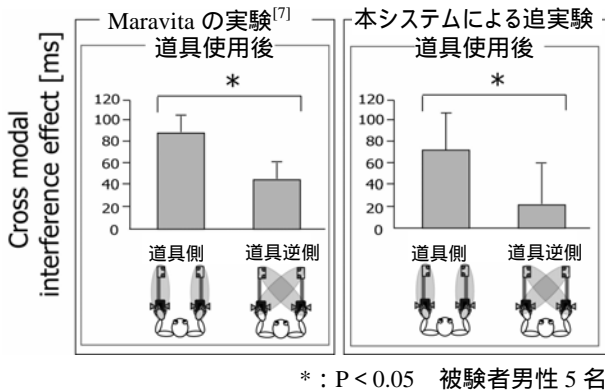


図 4 本システムにおける “Maravita の道具使用実験” の結果

Fig.4 Check experiment to confirm effectiveness of the system

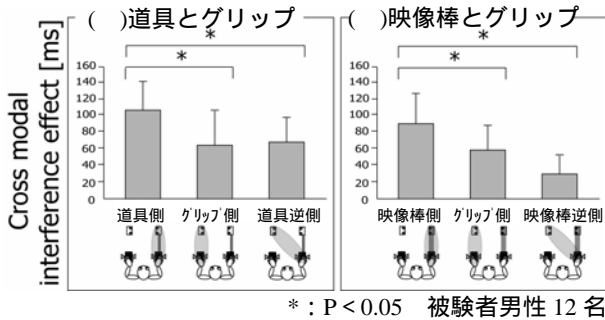


図 5 “条件( ):実体を持つ道具” と “条件( ):映像棒” の比較

Fig.5 Comparison between ( ):wielding physical tool and ( ):wielding virtual tool

まず、実験条件( )の結果についてであるが、実体の道具をグリップのみの“effect”と比較すると、実体の道具側の方が大きくなった。また道具の逆側での視刺激との“effect”を比較すると、実体の道具側の方が大きくなった。これらの実験結果は単に視刺激の影響によって生じているのではなく、道具の実体部分が、視覚刺激が発生する先端にまで伸びていることで、はじめて道具の先端における視刺激と道具を把持している手元への触刺激の統合が起こることを意味すると考えられる。これは Maravita の知見からも支持されるものである。

次に、実験条件( )の結果をみると、グリップのみに対し、映像棒側の“effect”が大きくなった。また映像棒の道具の先端と映像棒の逆側での視刺激との“effect”を比較すると、映像棒側の条件の方が大きくなった。この結果は実体を持つ道具の条件と同様である。すなわち物理的な実体を持たない映像による仮想的な道具においても実体の道具と同様に視刺激が触刺激に強く影響を及ぼしていると考えられる。このことは映像による仮想的な道具をグリップに重畳的に表現した本インタフェースにおいて、身体像が拡張する可能性を示すものである。また、

これらの結果は、Maravita の研究から類推すると<sup>[7]</sup>、仮想的な道具使用における身体像の拡張度合いを客観的に評価することにつながる事が期待できよう。

## 6. まとめと展望

本研究はMaravitaらの考案した cross modal interference 手法を手がかりに、仮想的な映像道具が身体像の拡張感を創出するかについて定量的な評価を試みた。また実際に仮想的な映像道具において Maravita の行った実体の道具による実験と同様の結果を得た。このことは本インタフェースによって身体像の拡張感されている可能性を示すものである。今後は身体像の拡張感をより強く創出する映像表現手法やその評価手法について研究を進めていく。また、身体像を遠隔地間の映像の中に拡張するような表現手法を用いたコミュニケーションシステムへの応用も視野に入れている。

## 謝辞

本研究の一部は、岐阜県からの委託研究である WABOT-HOUSE プロジェクトにより行われた。また本実験システム構築にあたり、当時の学部生である佐藤大樹君らの協力を得た。ここに謝意を表する。

## 参考文献

- [1] Head, H., Holmes, G.: Sensory disturbances from cerebral lesions; Brain, Vol.34, pp.102-254 (1911).
- [2] Iriki, A., Tanaka, M., Iwamura, Y.: Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurons; Neuroreport, Vol. 7, pp.2325-2330 (1996).
- [3] 例えば、上杉、三輪: 身体映像表現と実体ツールとのインタラクションによる共存的コミュニケーションシステム; ヒューマンインタフェース学会誌・論文誌, Vol.6, No.3, pp.295-305 (2004).
- [4] 久保、上杉、三輪: 実体と仮想の影の統合による身体性の拡張インタフェース; 情報処理学会 第 66 回全国大会講演論文集(4), pp.21-22 (2004).
- [5] 例えば、久米他: 皮膚感覚のファントムセンセーションを用いた 3 次元仮想空間内の作業効率; Human Interface N&R, Vol.13, No.2 (1998).
- [6] Kitamura, Y., Yamaguchi, Y., Imamizu, H.: Things Happening in the Brain while Humans Learn to Use New Tools; Proc. ACM CHI2003, Vol.5, No.1, pp.417-424 (2002).
- [7] A, Maravita., C, Spence., S, Kennett., J, Driver.: Tool-use changes multimodal spatial interactions between vision and touch in normal humans; Cognition, Vol.83, pp.B25-B34 (2002).