

ELBOWRIST: HMD を用いた 第二の肘を介した背面空間の探索

室田ゆう^{†1} 森光洋^{†2†3} 石原由貴^{†2} 小鷹研理^{†2}

視覚の届かない背面空間は、我々の身体の前面に開かれている視界内空間とは異なる知覚原理によって認知されていると考えられる。VR 空間において身体両面の視覚体験を与えるためには、こうした知覚原理に沿うかたちで、インタラクションが設計されるべきである。本研究では、仮想的に構成された第二の肘『ELBOWRIST』を介し背後の空間を視覚的に探索することによって、背面空間知覚を無理なく再編成する手法を提案する。

Exploring Back Space based on Wrist-Elbow Translation via HMD

YU MUROTA^{†1} KOYO MORI^{†2†3}
YUKI ISHIHARA^{†2} KENRI KODAKA^{†2}

ELBOWRIST is an HMD-based platform that gives an unnatural perspective directing the rear of the body, considering how we recognize our back-space as the peri-personal space (mental body-area). In ELBOWRIST, both physical wrists are virtually transformed into "the second elbow" and the extended arm is attached at the second elbow. The HMD wearer easily explores the back-space with this new body parts and the backward perspective, promoting re-organization of visual-cortex handling the back-space.

1. はじめに

近年、全方位画像取得及び Head Mounted-Display 関連の技術の進展によって、人間が一度に見渡すことのできない空間領域をリアルタイムに呈示可能な技術が整備されつつある。一方で、人間が、こうした全方位の視覚的空間を（普段前方の世界を体感しているように）一度に体感することは非常に困難である。それは、例えば、全方位画像（映像）を、視野角内で圧縮されたものを見るときに感じられる不自然さに端的に現れている。人間の空間認知は、基本的に、前面空間を迅速かつ正確に享受することに特化してきたものであり、背面空間を含む全方位空間を呈示するにあたっては、人間がもともと有している空間認知の特性に沿った形で、インタラクションを設計することが望ましい。本研究は、そのような観点で、人間が背面空間を含む両面の空間を、自然に体感するための HMD ベースのプラットフォームを設計している。本稿では、現時点でのプロトタイプである ELBOWRIST を報告する。

2 章では、主に認知心理学や脳科学の観点より、背面空間の認知特性について現時点で得られている知見を整理し、ELBOWRIST の設計指針へと接続する。3 章では、ELBOWRIST の実装の詳細を述べ、4 章で、今後の課題について簡単に述べる。

2. 背面空間の認知特性

人間の身体背面空間の認知特性については、これまで主に、触覚や聴覚のモダリティーから探求されてきた。

(1) 触覚特性

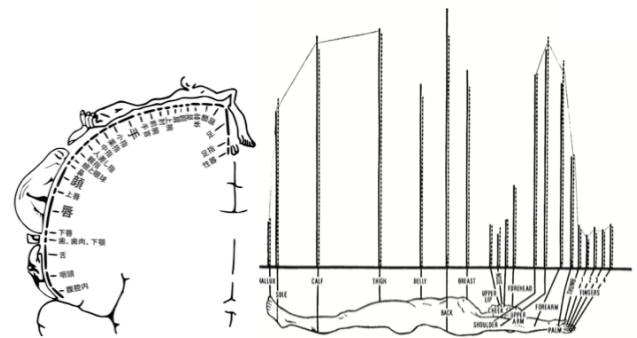


図 1 ペンフィールドの身体地図 (左) と継時二点弁別法による身体各部の空間分解能の違い (右)

Figure 1 A somatotopic map and point localization thresholds for different areas of the body (source from [1]).

身体背面の触覚特性に関しては、古くから多くの研究が知られている。よく知られているように、カナダの脳外科医ペンフィールドはてんかん患者の手術部位の決定に際し、ヒトの脳皮質を電気刺激し、運動野や体性感覚野と体部位との対応関係をまとめた。彼らのデータに基づいて描いた「こびと」(図 1 左)における身体各部の大きさは、脳皮質運動野の相当領域の面積に対応するように描かれてお

^{†1} 名古屋市立大学芸術工学部
Nagoya City University School of Design & Architecture,
^{†2} 名古屋市立大学芸術工学研究科
Nagoya City Graduate School of Design & Architecture,
^{†3} Bunno Pen
【 研究報告用原稿：上記*の文字書式「隠し文字」 】

り、この面積が大きいほど空間分解能が高いことを示している。日常生活においてよく使われる唇や顔、手などから入力を受ける面積は大きく、背中や尻などから入力を受ける面積は小さい。つまり、背中や尻などの背面の触覚分解能は相対的に悪く、身体背面に比べ、背面における感覚が鈍いということがわかる。このような背面空間の特性は、Weinstein[1]による2点弁別能の計測でも明らかとなっている。例えば、コンパスの両端を順々に呈示した2つの点と同じ位置であるか否かを判断させる継時2点弁別によれば、指先で2mm程度、お腹でも8mm程度であるのに対して、背中では12mm程度であり、背中での触覚を識別する能力は、他の部位と比較して最も低いことがわかっている(図1右)。

(2) 聴覚特性

触覚特性において見られたような身体前後の非対称性は、聴覚においては明確には現れない。以下では、身体周辺の空間に対する特異的な性質を記述するために有効なパラダイムである身体近傍空間(Peripersonal Space)と聴覚の関係について紹介する。身体近傍空間とは、「外界の物体と身体との直接的な相互作用が行われ得る身体周辺の空間」を指し、我々が心理的に身体だと認識している空間と定義されるものである。

近年、Blankeのグループは、身体に一定の速度で音塊が近づいてくる中で、皮膚への接触刺激の応答速度が有意に高まる点を身体近傍空間と定める audio-tactile stimulation paradigm[2-4]という実験の枠組みを考案している。このパラダイムを使うと、歩いている際や、車椅子を使っている際に、身体近傍空間が膨張することを確認することができる。さて、我々の関心は、身体の前後の空間における身体近傍空間の違いにある。これに関連して、身体への前面、背面からの近づいてくる音の刺激に対して観測される身体近傍空間の境界距離に有意な差は得られていない。つまり、聴覚刺激に着目する限り、身体近傍空間のサイズは前方・後方に関して対称的であり、背面だからといって反応が鈍くなるわけではないことがわかる。これは、触覚特性からの連想を裏切るものではあるが、一方で、聴覚が、視覚の欠点を補うように、全方位的に空間を理解するように特化してきたことを示唆している。

(3) 視覚特性

視覚に基づく身体近傍空間の計測には 光点検出パラダイムと呼ばれる、自分の身体周辺のある場所が光った時の反応速度を測定した手法が適用されてきた。このパラダイムによって、身体と重なる領域では、光点検出の反応速度が急激に上昇すること、身体近傍空間内(数10cm以内)にあるターゲットに対する光点検出の反応速度は有意に上昇することがわかっている[5]。

本研究との関連で興味深いことに、手の平側の光点検出

の反応速度は手の甲側に比べ上昇すること、腕の内側の光点検出の反応速度は外側に比べ上昇することなどが明らかになっている[6]。このことから、身体近傍空間内で、行為可能性の大きい場所ほど身体近傍空間内の“濃度”が高いということになる。残念ながら、背面空間の光はそもそも検出不可能であり、光点検出パラダイムを身体の両面空間の差異の検証に直接に適用することはできない。他方、背面空間における行為可能性が低い事実を踏まえるならば、仮に、我々が何らかの形で背面空間を見ることができたとして、その光点検出の反応速度は鈍くなるであろうことが推察される。

身体近傍空間と視覚に関わる別のトピックとして、道具の使用による視覚受容野の拡大がよく知られている。こうした特別な視覚受容野はバイモーダルニューロンと呼ばれ、手などの特定の身体部位の空間領域付近に存在する視覚刺激のみならず、対応する身体部位の体性感覚受容野の双方に反応するため、当人にとっての心理的な「身体」をコードするニューロンであると考えられている[7]。実際に、猿に熊手を持たせ、その熊手を用いて餌をとるという行動をさせた時、身体イメージを担保する視覚領域が、能動的な道具の使用によって道具の先端まで拡大することを明らかにした実験がある(図2左)。この実験では、受動的な保持(偶然の把持)では視覚受容野は拡大せず、能動的に自分の身体の一部として道具を使用することで拡大することがわかっている。道具がまるで自分の身体のように自分の意思で動くという心的なプロセスによって、サル(の脳が、道具を手の延長として同化している。また、猿に、実際の手と同じ動作をする映像を見せ、手の位置、大きさを変化させる実験では[8]、映像内の手の位置・サイズに従って、バイモーダルニューロンが反応する空間領域が移動・変形した(図2右)。映像の手は本物の手の動きに対応しているため、身体を映像内の手に心的に投影していることが原因であると考えられている。

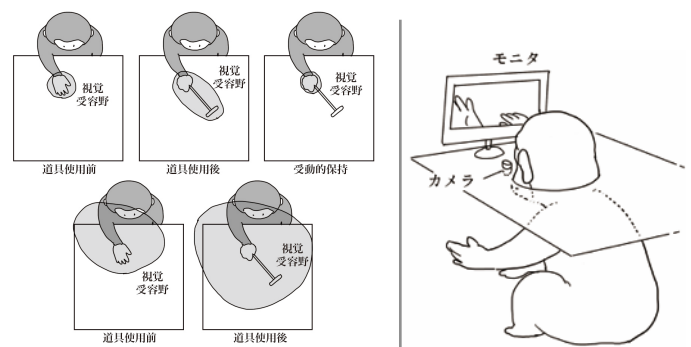


図2 道具の使用による、身体近傍空間の変化

Figure 2 The change of Peripersonal Space.

([6]の研究より改変)

以上の実験結果を踏まえると、行為可能性の低い背面空間を視覚的に呈示するにあたって、1) ただ受動的に見ているだけであれば、身体近傍空間とは体感されないであろうこと、2) なんらかの形で、当人の身体運動と連動する視覚的動きが同時に呈示されることで、背面空間に行為可能性が埋め込まれ、結果的に身体近傍空間に昇格され得ることが予想される。本研究では、こうした仮説の正しさを検討するための実験的なプラットフォームとして、拡張された腕（第三の腕）を身体背面に折りたたむことで、背面空間に対する行為可能性を高めるとともに、必要に応じて、HMD の視点を前方・後方に切り替えることのできる新たな体験装置「ELBOWRIST」を設計した。

3. 実装



図 3 Front Mode と Back Mode

Figure 3 Front Mode and Back Mode.

本システムでは HMD (HTC Vive) を使用し、体験者が持つポールを、身体イメージを拡張するための道具として VR 空間に持ち込む。具体的には、このポールは、VR 空間における体験者自身の新たな腕として提示される。この腕を、上腕・前腕と区別する意味で、以後「第三の腕」と呼ぶ。この際、本来の手首 (wrist) の部分が、第三の腕を回転させる関節=肘 (elbow) のように機能していることが重要

である (ELBOWRIST は ELBOW と WRIST を組み合わせた造語である)。第三の腕は、後ろ側に折り返されていない場合、VR 空間内において、腕が 1.5 倍ほどに延長されたような感覚を与える (図 3, front mode)。一方で、ポールが背面空間に折り返されると、自動的に視点も後ろに切り替えられ、背面空間でありながら、第三の腕の動きを、視覚的に捉えることが可能である (図 3, back mode)。

ELBOWRIST の設計にあたって、体験者が把持するポールの位置を正確に追従し、VR 空間内の第三の腕の動きと正しく連動させるために、ポールの先端に Vive コントローラが装着されている。また、VR 空間内の人の 3D モデル (アバター) には、Structure Sensor でスキャンした実際の人のモデルを使用し、服の質感など VR 空間における体験のリアリティを高めている。アバターの上腕と前腕の動きは、IK (Inverse Kinematics) により推定し、1 人称視点において、なめらかな腕の動きが視覚的に呈示されるようにした。

4. 結語

本装置を当研究室の数人に体験してもらった。体験者への聞き取りでは「身体背面にも腕が存在する感じがした」、「背面の身体近傍空間が広がったように感じた」という意見に加え、「実際には存在しない腕が本当に存在する感じがしてもぞもぞした」などの違和感を訴える感想を聞くことができた。背面空間の知覚レベルを高めようとする事例として、身体前面の映像と背面の映像を半透明にして重ね合わせることで、全方位の視覚的情報を理解しようとした研究がある[9]。この研究では視覚へのアプローチのみによって、背面空間への知覚の感度を高めていた。本研究では、体験者の延長された身体を背面空間に投影することで、視覚と運動感覚のリンク構造として背面空間の再編成を促すものであり、われわれの身体認知の可塑性に基づく、新たな方法を提示できたのではないかと考える。

今後は、本装置によって視覚において背面空間をどの程度身体近傍空間として認識できているのか、客観的指標によって明らかにする必要がある。これには、先述したように視覚に基づく身体近傍空間を測定するために適用されてきた光点検出パラダイムを利用することができる。今まで、身体背面における光点検出パラダイムの適用は原理的に不可能であったが、ELBOWRIST を使えば、前面空間においても背面空間においても、同様の条件下で、光点検出の実験を適用することができる。このような実験を行うことは、身体イメージを変化させることが背面の空間認知への程度影響しているのかを解明するという認知心理学的な関心に照らして、非常に意義がある。さらに、今後の VR 空間での身体に対するリアリティ向上の手法を探ることにつながると考えられる。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費 15K21281 の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Weinstein, S. (1968). Intensive and extensive aspects of tactile sensitivity as a function of body part, sex and laterality. In *First International Symposium on Skin Senses*, 195–222.
- 2) Serino, A., Noel, J.-P., Galli, G., Canzoneri, E., Marmoroli, P., Lissek, H., & Blanke, O. (2016). Body part-centered and full body-centered peripersonal space representations. *Scientific Reports*, 5(1), 18603.
- 3) Galli, G., Noel, J. P., Canzoneri, E., Blanke, O., & Serino, A. (2015). The wheelchair as a full-body tool extending the peripersonal space. *Frontiers in Psychology*, 6, 639.
- 4) Noel, J.-P., Grivaz, P., Marmoroli, P., Lissek, H., Blanke, O., & Serino, A. (2015). Full body action remapping of peripersonal space: The case of walking. *Neuropsychologia*, 70, 375–384.
- 5) Hari, R., & Jousmäki, V. (1996). Preference of personal to extrapersonal space in a visuomotor task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(3), 305–7.
- 6) Reed, C. L., Grubb, J. D., & Steele, C. (2006). Hands up: attentional prioritization of space near the hand. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 32(1), 166–177.
- 7) Iriki, A., Tanaka, M., & Iwamura, Y. (1996). Coding of modified body schema during tool use by macaque postcentral neurones. *Neuroreport*, 7, 2325–2330.
- 8) Iriki, A., Tanaka, M., Obayashi, S., & Iwamura, Y. (2001). Self-images in the video monitor coded by monkey intraparietal neurons. *Neuroscience Research*, 40(2), 163–173.
- 9) Fan, K., Huber, J., Nanayakkara, S., & Inami, M. (2014). SpiderVision: Extending the human field of view for augmented awareness. : *ACM International Conference Proceeding Series* [a49] Association for Computing Machinery.