



# Haptic retargeting で与えられたズレに対する慣れの影響

## Influence of Habituation to Displacement Given in Haptic Retargeting

鳥海青真<sup>1)</sup>, 小方博之<sup>2)</sup>, 亀谷恭子<sup>3)</sup>, 安田晶子<sup>4)</sup>

Seima TORIUMI, Hiroyuki OGATA, Kyoko KAMEYA, and Shoko YASUDA

- 1) 成蹊大学 理工学研究科 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, dm236311@cc.seikei.ac.jp)
- 2) 成蹊大学 理工学部 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, ogata@st.seikei.ac.jp)
- 3) 成蹊大学 理工学部 (〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, kkameya@st.seikei.ac.jp)
- 4) 一橋大学 森有礼高等教育国際流動化機構 (〒186-8601 東京都国立市中 2-1, s.yasuda@r.hit-u.ac.jp)

概要：現実空間の一つのオブジェクトを利用して、VR 空間の複数のオブジェクトの触覚フィードバックを与える haptic retargeting がある。これは、ユーザに知覚されない範囲で VR 空間のオブジェクトの座標を操作することで実現しているが、特定量の操作が続いた場合にユーザがそれに慣れ、知覚されない範囲が変化する可能性がある。本研究では操作された映像に慣れる前後での知覚されない範囲を比較し、慣れによる影響を検証した。その結果、オブジェクトが奥行き方向にずれた映像に慣れることにより、PSE および知覚されない範囲が同じ方向にずれることが明らかになった。

キーワード：haptic retargeting, マルチモーダル, 視覚, 位置覚

## 1. はじめに

VR (Virtual Reality) の分野では現実とは少し異なる映像を見せることで錯覚させ、省スペースや単純化を実現するさまざまな方法が提案されている。代表的な例としてリダイレクテッドウォーキング [1] がある。

リダイレクテッドウォーキングとは、現実の体験者の位置や向きから少しずらした映像を提示することで、到達可能な VR 空間を拡張する技術である。例えば実空間で体験者が歩行するとき、2 倍の速度で進んでいる映像を VR ゴーグルで提示する。すると実空間での歩行距離が 1m であっても、体験者は 2m 歩行したと感ずる。このように映像を操作する倍率を変えることで、体験者は短い距離の歩行でも長い距離を歩行したと感ずる、狭い室内であってもより広大な VR 空間を歩き回ることができる。

Haptic retargeting [2] もこれと同じように、現実の物体や体験者の手の位置を少しずらした映像を提示することで、VR 空間の複数の物体の触覚フィードバックを実空間の一つの物体で与える技術である。例えば実空間に箱があるとき、箱の位置が 2 倍遠く、体験者の手の奥行き方向の速度も 2 倍の映像を VR ゴーグルで提示する。この状態で箱を掴むと、VR 空間の遠い位置にある箱の触覚フィードバックを実空間の近い位置にある箱で与えることができる。図 1 は体験者の手の水平方向の速度を操作した映像を提示することで、VR 空間に並んだ三つの箱の触覚フ

ィードバックを実空間の一つの箱で与えている。このように映像を操作する倍率を変えることで、VR 空間の様々な位置にある箱の触覚フィードバックを実空間の一つの箱で与えることができる。

映像を操作するズレの大きさは体験者に知覚されない範囲である必要があるが、ずれた状態を継続的に体験者に提示するうちに、慣れが生じてこの範囲が変化する可能性がある。しかし、この範囲が慣れによって受ける影響については明らかになっていない。

そこで本研究では、haptic retargeting で与えられたズレに慣れる前後の知覚されない範囲を比較することで、慣れによる影響を明らかにすることを目的とする。



図 1: Haptic retargeting [2]

## 2. 慣れについて

慣れについて一般的な定義がなかったため、習熟現象 [3] を基に本研究における定義を行った。

### 2.1 習熟現象

習熟現象とは、同一の作業を繰り返すことによって、所要時間が減少していく現象である。これは、個人の動作要素のような小さな作業から、企業の大規模な生産システムにまで適用される。繰り返し回数に対してこの所要時間の変化をグラフにしたものを習熟曲線という。

ある生産数までの生産時間の平均をその生産数における累積平均時間といい、累積平均時間 $H_N$ と生産数 $N$ の関係、すなわち習熟曲線は式(1)で表される。 $\alpha$ は習熟係数である。

$$H_N = \frac{H_1}{N^\alpha} \quad (1)$$

### 2.2 実験

予備実験において、実験者がVR空間で合図をした後に被験者が箱を掴んで持ち上げる作業を繰り返してもらった。その結果、作業回数が増えると合図から箱を掴んで持ち上げるまでの時間は減っていくが、その割合は一定ではなかった。そのため、累積平均時間の習熟曲線を用いることで掴んだ回数と掴むまでの時間の関係を近似式で表すことにする。

本研究では、習熟曲線を描き、合図から箱を掴んで持ち上げるまでの累積平均時間が初めの時間より一定割合小さくなったときに慣れたと定義する。この実験ではこの一定割合の値を決定する。

#### 2.2.1 実験環境

機器は映像を提示するVRゴーグルにVIVE Cosmos Eliteを、手と箱の動きを取得するのにVIVEトラッカー (3.0)を使用した。提示する映像はUnity2020で作成した。

VIVEトラッカー (3.0) は被験者が掴む対象である一辺が90mmの箱の上部と被験者が掴むのに使用する手の甲に取り付けた。被験者には座面高が410mmの椅子に座ってもらい、手を膝の上に置いたときのVIVEトラッカー (3.0) から正面に400mm、高さ650mmの位置に台を設置し、その上に箱を置いた。

図2はVRゴーグルで被験者に提示した手と箱の映像である。箱を置いている台などは箱までの距離感の手がかりとなる可能性があるため描画しなかった。

#### 2.2.2 実験方法

被験者には奥行き方向を正として120mmずれている箱の映像を提示し、合図として箱の下に赤い円が表示されたら箱を掴んで持ち上げてもらった。このとき、合図から箱を持ち上げるまでの時間を測定し、この作業を20回繰り返した。その後、結果を比較するため箱がずれていない映像でも同様の作業を行った。なお、順序効果を考慮し実験の半分は箱がずれていない映像での作業を先に行った。実験後はシミュレータ酔いに関するアンケートであるSSQ [4] に回答してもらった。これはシミュレー

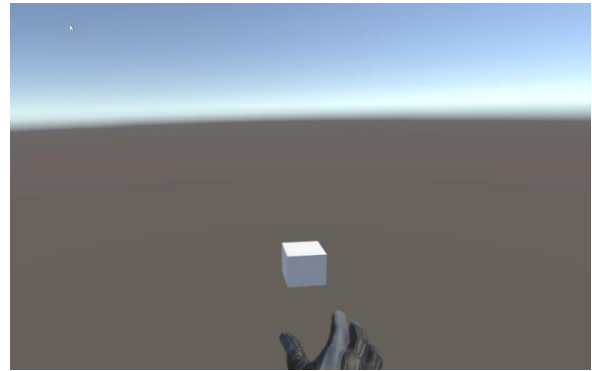


図 2: VR ゴーグルで提示した映像

タによる症状の16項目についてそれぞれ4段階で評価させるものである。このうち4項目以上で3、4段階目の評価がある被験者はシミュレータ酔いをしたと判断する。

被験者は大学生7名(男性6名, 女性1名)であった。

### 2.3 結果

SSQを実施した結果、シミュレータ酔いをした被験者が1名いたため、そのデータを除いた。

表1に習熟曲線から推定される、合図から箱を掴んで持ち上げるまでの累積平均時間が初めの時間の90%になるときの掴む回数を示す。青の領域で示した一部は30回以上掴む必要があったが、ほとんどは3~15回の範囲であった。被験者の負担を考え、ズレがある映像で掴むのに慣れる作業は20回以内が好ましい。そのため、習熟曲線を描き、合図から箱を掴んで持ち上げるまでの累積平均時間が初めの時間の90%になったとき慣れたと定義する。

## 3. 本実験

Haptic retargeting で与えられたズレに慣れる前と慣れた後で、ズレが知覚されない範囲を求める。これらの値を比較することで、haptic retargeting で与えられたズレに対する慣れの影響を探る。

Haptic retargeting で与えられたズレに対する慣れの影響について検証するため、単にVR空間で箱を掴むのに慣れることの影響を除く必要がある。そのため、ズレに慣れる前の知覚されない範囲を検証する前にはズレがない映像で掴むのに慣れる作業を行った。すなわち、

表 1: 掴むまでの累積平均時間が初めの90%になるときの掴む回数

	ズレなし [回]	ズレあり [回]
1人目	3.31	7.04
2人目	4.82	3.22
3人目	97.6	14.90
4人目	3.00	33.52
5人目	6.79	3.14
6人目	5.47	13.06

- ①: ズレがない映像で掴むのに慣れる作業
- ②: ズレがある映像で掴むのに慣れる前の知覚されない範囲の検証
- ③: ズレがある映像で掴むのに慣れる作業
- ④: ズレがある映像で掴むのに慣れた後の知覚されない範囲の検証

の4ステップで実験を行った。また、順序効果を考慮して実験の半分は①②と③④を入れ替えて行った。実験の作業の間には適宜休憩を挟んだ。

予備実験において、被験者が掴む対象である一辺が90mmの箱は正面から掴むにはやや大きいという意見が見受けられた。そのため本実験では一辺が70mmの箱を使用した。

被験者は大学生16名(男性14名、女性2名)であった。

ステップ①③はVRゴーグルを用いて被験者に箱の映像を提示し、合図として箱の下に赤い円が表示されたら箱を掴んで持ち上げてもらった。このとき、合図から箱を持ち上げるまでの時間を測定し、習熟曲線を描いた。この作業を、合図から箱を掴んで持ち上げるまでの累積平均時間が初めの時間の90%になるまで繰り返した。習熟曲線を描くため作業は最低5回繰り返し、20回繰り返した時点で掴むまでの累積平均時間が初めの90%に達していない場合は、初めから習熟していたとみなしてそこで終了した。ステップ①の箱は実空間の箱とズレはなく、ステップ③の箱は奥行き方向を正として120mmずれている。

ステップ②④は恒常法を用いて、箱のズレ量が異なる映像をランダムに6回ずつ提示し、箱を掴んでもらった。ズレの大きさは奥行き方向を正として、-50mmから250mmの範囲で、50mm刻みの計7パターンである。箱を掴んだ直後に映像より箱が遠いか近いかどちらに感じたかを質問し、二肢強制選択法により回答を得た。

実験後はSSQに回答してもらった。

#### 4. 結果

SSQを実施した結果、シミュレータ酔いをした被験者が2名いたため、そのデータを除いた。

得られたデータを式(2)のロジスティック関数で近似した。

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{ax+b}} \quad (2)$$

ズレに慣れる前の結果を図3、ズレに慣れた後の結果を図4、二つの結果をまとめたものを表2に示す。縦軸は質問に「遠い」と回答した割合で、横軸はズレの大きさである。赤線は結果に当てはめたロジスティック曲線で、エラーバーは標準誤差である。回答の割合が50%の点を主観的等価点(PSE)とし、75%の点から25%の点をズレが知覚されない範囲とした。

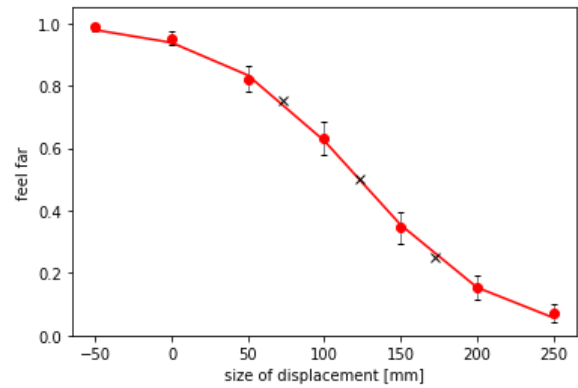


図3: ズレに慣れる前

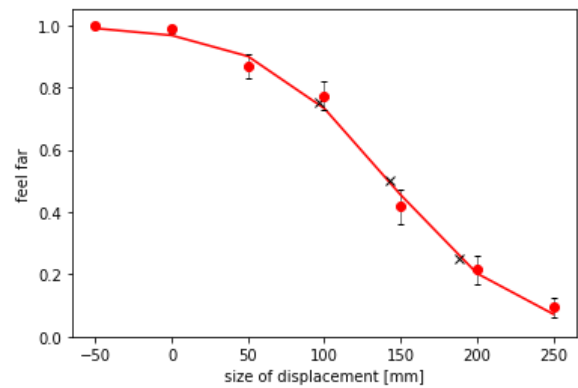


図4: ズレに慣れた後

表2: ズレに慣れる前後の比較

	[mm]	
	ズレに慣れる前	ズレに慣れた後
PSE	122.8	142.4
知覚されない範囲	[73.1, 172.5]	[96.2, 188.6]
範囲の幅	99.4	92.4

ズレに慣れる前のズレのPSEは122.8mm、ズレが知覚されない範囲は73.1mmから172.5mmとなり、その幅は99.4mmであった。また、ズレに慣れた後のズレのPSEは142.4mm、ズレが知覚されない範囲は96.2mmから188.6mmとなり、その幅は92.4mmであった。

#### 5. 考察

ズレに慣れる前後を比較すると、ズレに慣れた後はPSEおよび知覚されない範囲の上下の値が大きくなった。これは箱の位置が奥行き方向にずれた映像で掴むのに慣れた結果、自身にとっての箱の位置の基準もずれたためPSEも同じ方向にずれたと考えられる。

ズレがある映像で掴むのに慣れる作業では120mmずらしたにも関わらず、慣れる前後でのズレのPSEの差は20mm程度であった。これはズレに慣れる前で既にPSEが122.8mmと、本来の0mmよりも大幅に大きいことに起因すると考える。

ズレに慣れる前に既に PSE が大きくなっていた理由は二つ考えられる。一つは VR 空間の地平線の影響である。身体の感覚以外に箱との距離感を測る基準を与えないため、VR 空間には箱と手以外の物体を置かなかつた。しかし、距離感を測るのに視覚情報は切り離せず、唯一手掛かりになりうる地平線を基準にしてしまったと考える。地平線は遙か遠方にあるため映像の箱は相対的に近いと感じ、結果として実空間の箱の方が遠いと感じたと考えられる。

もう一つは VR ゴーグルの影響である。VR 空間において、自己から対象物までの距離が実際よりも小さいと感じる現象がある [5][6]。文献 [5] と [6] の研究は歩行条件下でのものであるが、同様の現象がより近距離の把持条件下でも起きたと考えられる。

## 6. 結論

本研究では、箱を掴む動作において haptic retargeting で与えられた奥行き方向のズレに慣れる前後の、ズレが知覚されない範囲を検証した。ここでは慣れを、合図から箱を掴んで持ち上げるまでの累積平均時間の習熟曲線を描き、掴むまでの時間が初めの時間の 90% になった状態と定義した。また、実験に際して、慣れるためのズレの大きさは奥行き方向を正として 120mm とした。

結果としてはズレに慣れる前のズレが知覚されない範囲は [73.1mm, 172.5mm]、ズレに慣れた後のズレが知覚されない範囲は [96.2mm, 188.6mm] であった。このことから、haptic retargeting で与えられた奥行き方向のズレに慣れることにより、ズレが知覚されない範囲は同じ方向にずれることが明らかになった。

慣れたズレの大きさに対して、知覚されない範囲のズレ

レが小さかったことの原因は VR 空間の地平線の影響と VR ゴーグルの影響が考えられる。

## 参考文献

- [1] Sharif Razzaque, Zachariah Kohn, and Mary C. Whitton. Redirected walking. *Proceedings of EUROGRAPHICS*. 9. 2001. 105-106
- [2] Mahdi Azmandian, Mark Hancock, Hrvoje Benko, Eyal Ofek, Andrew D. Wilson. Haptic Retargeting: Dynamic Repurposing of Passive Haptics for Enhanced Virtual Reality Experiences. *CHI '16: Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. 2016. 1968-1979
- [3] 師岡孝次. 習熟性工学: 物的評価と計画の技術. 建帛社. 1969
- [4] Robert S. Kennedy, Norman E. Lane, Kevin S. Berbaum, Michael G. Lilienthal. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The international Journal of Aviation Psychology*. 3. (3). 1993. 203-220
- [5] Jodie M. Plumert, Joseph K. Kearney, James F. Cremer, Kara Recker. Distance perception in real and virtual environments. *ACM Transactions on Applied Perception*. 2. (3). 2005. 216-233
- [6] Peter Willemsen, Mark B. Colton, Sarah H. Creem-Regehr, William B. Thompson. The Effects of head-mounted display mechanics on distance judgments in virtual environments. *APGV '04: Proceedings of the 1st Symposium on Applied perception in graphics and visualization*. 2004. 35-38