

6ZM-06

## クロスモーダル現象を用いた VR 空間における 触覚呈示の精度向上に関する検討

間中優 石川知一  
東洋大学

### 1. はじめに

近年、VR (Virtual Reality の略) デバイスの普及により様々なコンテンツが配信されている。さらなるリアリティを求めめるために触覚呈示デバイスの開発も進められている。しかし、触覚呈示デバイスが無ければ体験することができないという制約は、VR ユーザーにとってストレスになると考えた。そこで本研究は、過去の研究者が行ったクロスモーダル現象を用いて特別なデバイスを利用しない触覚呈示の研究をもとに、その精度を向上させることを試みる。

### 2. 関連研究

白井らは、視覚と聴覚のクロスモーダル現象を利用し、弾力性のある仮想オブジェクト (バネ) に対する触覚再現を行った[1]。視覚刺激には仮想空間上に表示されるバネと手を、聴覚刺激にはバネの動きと連動して変化する音を提示してクロスモーダル現象を利用し、擬似的な触覚再現を試みる研究を行った。実験では視覚と聴覚の刺激を用いて疑似力覚を誘発できることが示唆された。

### 3. 実験概要

実験では VR を用いて、視覚と聴覚刺激のクロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度向上を目的とした検証を行った。本実験において、疑似的な触覚を呈示する体験動作をハイタッチとする。視覚と聴覚刺激の呈示には HTC Vive pro の VR を利用し、仮想空間に現実世界の手の動きを認識させるため、Leap Motion を用いた。図 1 が実際に利用した機材であり図 2 が実験風景である。実験は男性 12 人女性 12 人の計 24 人の参加者に対して行った。評価は被験者に対して触覚を「感じる」が 5 で「感じない」を 1 として問う 5 件法とフリーコメントの収集を行う。音響は、現実世界でハイタッチした音を 10 パターン収録し、仮想空間上で自分の手と相手の手が衝突した瞬間ランダムに音を再生する。



図 1 使用した VR 機材



図 2 実験風景

### 4. 検証項目

#### 4.1 【検証 1】聴覚刺激の有無が触覚デバイスを利用しない触覚再現に影響を及ぼすのか

VR 空間において、シーンの視覚刺激とハイタッチした際に音を鳴らす聴覚刺激を組み合わせると、クロスモーダル現象により触覚が感じるようになるのか検証する。

#### 4.2 【検証 2】体験動作を訓練することにより、触覚再現の精度が向上するのか

検証 2 での訓練とは、被験者に仮想空間上で現実の体験動作を強く意識させることである。ハイタッチの体験動作において、仮想空間上ではハイタッチした際に仮想空間上に表示されている自身の手と、ハイタッチをする相手の手のオブジェクトがすり抜けてしまう。そこで、被験者に対してオブジェクトがすり抜けないように意識することを指示する。意識的な訓練をすることによりクロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度が向上するか否かを検証する。

#### 4.3 【検証 3】視覚情報の尤もらしさにより、触覚再現の精度が向上するのか

ハイタッチの体験動作において、手の視覚情報はとても重要だと考えた。無機質な手のデザインより人間味のある手のデザインの方が体験動作に説得力が生まれ、触覚再現の精度が向上するのではないかと考えた。そこで、体験動作において、視覚情報の尤もらしさがクロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度を向上させるのか否かを検証する。

### 5. 実験の種類

実験では以下の 4 パターンの疑似的な触覚呈示手法を被験者に体験してもらった。各実験の対応表を表 1 に示す。

聴覚刺激を呈示する場合は、ハイタッチの音を再生する。

表 1 各実験の対応表

	実験	聴覚刺激	指示	リアルな手のテクスチャ
実験 1	音あり (指示なし)	○	×	○
実験 2	音あり (指示あり)	○	○	○
実験 3	音無し	×	×	○
実験 4	音あり (リアルでないテクスチャ)	○	×	×

指示を出す場合は、ハイタッチを仮想空間上で行う際に、仮想空間上に表示されている自分の手とハイタッチする相手の手が貫通しないように意識することを指示する。手のテクスチャがリアルなものとは図3、リアルではない無機質なものを図4のテクスチャを表示する。



図3 リアルな手のモデル 図4 無機質な手のモデル

実験が4種類あるため順番バイアスを排除する目的から、実験を行う順序を表2に示す4つのパターンを作成し、被験者ごとに異なる順序を指定して実験を行った。

表2 4パターンの実験順序

	1番目	2番目	3番目	4番目
順序1	実験1	実験2	実験3	実験4
順序2	実験2	実験1	実験3	実験4
順序3	実験3	実験1	実験2	実験4
順序4	実験3	実験2	実験1	実験4

## 6. 実験結果と考察

5件法で回答してもらった評価値をもとに2標本t検定の片側t検定を行い、表3に示す帰無仮説  $H_0$  が棄却できるか検証する。なお、本研究では有意水準を  $\alpha=0.05$  とする。

表3 3つの検証の帰無仮説

	帰無仮説 $H_0: \mu=0$
検証1	音あり(指示なし)の評価値と音無し(指示なし)の評価値は等しい(すなわち、触感が上がらなかった)
検証2	音あり(指示あり)の評価値と音あり(指示なし)の評価値は等しい
検証3	音あり(指示なし)の評価値と音あり(リアルではない手のテクスチャ)の評価値は等しい

### 6.1 検証1の結果と考察

検証1では『音あり(指示なし)』と『音無し』の実験アンケート評価値を用いて検定を行った結果、 $p=0.973 \times 10^{-5} < 0.05$  であり  $H_0$  を棄却することができた。このことから、聴覚刺激が無いより聴覚刺激がある方が触覚を感じられたため、視覚と聴覚刺激のクロスモーダル現象を利用した触覚再現が有効であることが示唆された。『音無し』のフリーコメントで比較的触覚を感じにくいと回答した被験者の中に「音が無いと物足りない」という内容があった。このことから、被験者自身が想像していたハイタッチと、音が聞こえない仮想空間でのハイタッチの体験動作に対する想像と現実の差に違和感を覚え、触覚を感じにくくなっていたと考えられる。

### 6.2 検証2の結果と考察

検証2では『音あり(指示あり)』と『音あり(指示なし)』の実験アンケート評価値を用いて検定を行った結果、 $p=0.422 > 0.05$  であり  $H_0$  を棄却することができなかった。し

かし、被験者の半数である12人が体験した、実験順序が『音あり(指示なし)』から『音あり(指示あり)』の場合のみだけを検定したところ、 $p=0.020 < 0.05$  で表3にある検証2の  $H_0$  を棄却することができた。これらの結果から、実験の順序が『音あり(指示なし)』から『音あり(指示あり)』の場合に限り、意識的な訓練をすることによりクロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度向上に繋がることが示唆された。実験の順番で結果に差が出た要因として、『音あり(指示あり)』から『音あり(指示なし)』を体験した場合、最初に体験動作を強く意識させる訓練を行うため、後の『音あり(指示なし)』の実験の際に訓練した学習が被験者に残り、結果に影響が出てしまったと考えられる。

### 6.3 検証3の結果と考察

検証3では『音あり(指示なし)』と『音あり(リアルではない手のテクスチャ)』の実験アンケート評価値を用いて検定を行った結果、 $p=0.005 < 0.05$  で表3にある検証3の  $H_0$  を棄却することができた。このことから、仮想空間上での体験動作において視覚情報の尤もらしさが、クロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度向上に繋がることが示唆された。視覚刺激である手のテクスチャについて、リアルなテクスチャより無機質なテクスチャの方が、触覚評価が下がった要因として、フリーコメントから「自分の手ではない感じがし、違和感があった」という回答が得られた。このことから、検証1の考察と同様に被験者が想像している体験動作のイメージと仮想空間で行われる体験動作のイメージに差がある場合、クロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度が落ちやすいことが考えられる。

## 7. おわりに

本研究では、視覚と聴覚刺激を起因としたクロスモーダル現象を用いて触覚再現の精度向上を目的とした実験を行った。実験の結果、5件法による評価とフリーコメントから以下のような知見が得られた。

- 視覚と聴覚刺激のクロスモーダル現象を利用した触覚再現が有効であることが示唆された
- 視覚情報の尤もらしさと、実験の順序が『音あり(指示なし)』から『音あり(指示あり)』の場合に限り、意識的な訓練をすることによりクロスモーダル現象を利用した触覚再現の精度が向上することが示唆された。
- クロスモーダル現象を利用した触覚再現において、仮想空間で行われる体験動作がユーザーの想像している体験動作と近い場合、触覚再現の精度に影響があることが示唆された。

## 参考文献

[1] 白井亮人, 中島武三志, 菅野由弘. 視覚及び聴覚刺激によるクロスモーダル現象を利用した力覚の錯覚. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2017 論文集, Vol. 2017, pp. 184-187, 2017.