



R-V Dynamics Illusion : 実物体と仮想物体の異なる運動状態によって生じる錯覚現象

R-V Dynamics Illusion: Psychophysical Phenomenon Caused by the Difference Between Dynamics of the Real Object and the Movement of the Virtual Object

片岡佑太, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子

Yuta Kataoka, Satoshi Hashiguchi, Fumihisa Shibata, and Asako Kimura

立命館大学大学院 情報理工学研究科

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要 : 複合現実空間では, 実物体に対して CG 画像を重畳描画することによって, 外観を変化させることが可能である. 我々はこれまで, MR 空間において, 手の振りに応じて物体内部の液体が揺れる CG 画像を重畳描画した際に, 異なる重さを知覚する錯覚現象を発見した. 先行研究では, 同錯覚現象に対し, 実物体内部が剛体の場合に限定して実験を行った. しかし, 実物体内部が動的に変化する場合にも, 錯覚現象が生起されるか不明である. そこで本研究では, 先行研究の剛体条件に対して液体条件を加え, 運動状態の差異が重さ知覚に及ぼす影響について実験を通して確認した.

キーワード : 複合現実感, 運動状態, 重さ知覚, 錯覚

1. はじめに

近年, 複数の感覚提示を組み合わせた, 感覚相互作用に関する研究が注目を集めている [1]. その一例である Pseudo-Haptics [2] は, 視触覚情報の齟齬により, 擬似的な触力覚が生起される錯覚現象である. このように, 各感覚モダリティ間に敢えて差異を生じさせることで, 独立の感覚では発生し得ない感覚が発生することがある.

我々は複合現実感 (Mixed Reality; MR) の技術を用いて, 視覚と触力覚との相互作用に関する研究を行ってきた [3-5]. MR 空間では, 仮想空間と現実世界を長時間で組み合わせることができる. それ故に, 仮想空間で生成した視覚刺激 (以下, MR 型視覚刺激) と現実世界の触力覚に敢えて差異を生じさせ, 感覚間の相互作用を確認できる.

これらの研究の一課題として, 我々は把持物体に大きさの異なる仮想物体を重畳描画することによって, 重心の知覚に影響を及ぼすことを確認し, この錯覚現象を Shape-COG Illusion と命名した [4]. また, 同錯覚現象において系統的实验を行う過程で, 手の振りに応じて物体内部の液体が揺れる CG 画像を重畳描画したところ, 物体の重量に変化が伴う錯覚現象が知覚された. 我々は, このような実物体 (R) と仮想物体 (V) の異なる運動状態が引き起こす錯覚を R-V Dynamics Illusion と命名し, 発生メカニズムの解明に取り組んできた [5].

先行研究では, 同錯覚現象を実物体内部が剛体の場合に限定して確認したが, 実物体と仮想物体の運動状態の組み合わせは剛体に限らず, 様々な条件が考えられる. そこで, 本稿では実物体内部が液体のような動的に変化する条件

を加え, 運動状態の差異が重さ知覚に及ぼす影響を, 実験を通して確認する.

2. 実験準備

2.1 実験目的

先行研究では, 把持している実物体の内部を「剛体」, 重畳描画する CG 画像を, 手の振りに応じて揺れる「液体」とした場合に, どのような錯覚現象が起こるのか確認した. 本研究では, 次のステップとして, 実物体内部を「剛体」ではなく, 動的に変化する「液体」とした場合にも R-V Dynamics Illusion が発生するかどうか確認する. 具体的に, 実験 1 ではサーストンの一対比較法を用いて人間の主観的側面から, 実験 2 では各条件での筋電位を計測することで客観的側面から同現象を分析する. 更に, 実物体と仮想物体の異なる運動状態が重さ知覚に及ぼす要因について考察する.

2.2 実験環境

実験で用いるシステムの構成を図 1 に示す. MR 映像提示には, ビデオシースルー型 HMD および MR Platform System を用いる. 体験者の頭部及び実物体の位置姿勢情報は磁気センサから取得する. また, 把持物体を振る角度が一定となるように, 物体を左右に 30 度 (物体の水平角度を 0 度とする) 以上傾けると音が鳴るようにする.

2.3 使用する実物体

体験者が把持する実物体として, 剛体の物体と液体を封入した物体の 2 種類を利用した. 両者とも, 把手を取り付けた幅 165×奥行 80×高さ 90mm のアクリルケースを用い,

前者にはケースに錘を封入し、高さ 45mm まで水を封入した際の重さ (750g) と同じ重量になるよう調整した。後者には、水を 45mm まで封入し、重さは 750g に統一した (図 2)。

2.4 MR 型視覚刺激

MR 型視覚刺激として提示する仮想容器の寸法は、実物体と同じ大きさ、液体量とした。また、液体部分は水色、液体の入っていない部分は白色に着色されている (図 3)。実験では、体験者に容器を左右に振らせ、内部の液体が左右に揺れる様子を提示する。この際、液体の揺れを模した簡易モデルを設定した (先行研究 [5] 参照)。このモデルでは、液面を直線と近似するという前提のもと、液体の揺れを簡易表現している。

また、MR 型視覚刺激として提示する液体部分の揺れには、振り動作に対して固定、順方向、逆方向の 3 種類を用意した (図 3)。固定条件では、液体の揺れを表現せずに振り動作に対して剛性となる。順方向条件では、液体の揺れを模した簡易モデルを適応し、振り動作に対して現実世界と同様の動きを再現する。逆方向条件は、振り動作に対して順方向とは逆の方向に液体が動く。つまり、手の動きと MR 型視覚刺激の間で矛盾が生じることとなる。

2.5 筋電位測定

実物体を左右に振る動作は、回外・回内運動であることから、運動時に作用する回外・回内筋を対象筋として計測する (図 4)。計測のための電極には Disposable 電極を用いる。電極間距離 25mm で貼付し、アース電極は橈骨茎状突起とした。筋電計から導出されたアナログ信号は、サンプリング周波数 500Hz で PC に取り込む。

表面筋電図により筋電活動を観察する手法は様々あるが、本研究では、把持物体の振り動作時における回外・回内筋の筋活動量を確認するために、振幅情報から算出される筋肉が活動する度合を指標化した %MVC (Maximal Voluntary Contraction) を利用する。筋電位の解析は、筋電計より得られた波形を全波整流化した後、被験者ごとに計測した MVC により正規化し、%MVC を算出する。

3. 実験 1

3.1 実験内容

実験 1 では、サーストンの一対比較法に基づいて、実物体と仮想物体の運動状態の差異が重さ知覚に与える影響を明らかにする。

実験で用いる実物体は、図 2 の剛体と液体の 2 通り、仮想物体は、図 3 の固定、順方向、逆方向である。これらに加え、仮想物体による視覚刺激の影響がない基準刺激として、剛体と液体の各条件において CG を描画しない試行 (ケース内部は不可視) (P1, P5) を加えた。また、透明なケースを利用し、実物の液体の動きを視認しながら試行する条件 (P6) についても実験を行った。これらの条件を組み合わせ、P1~P9 の計 9 パターンで実験を行った (表 1)。

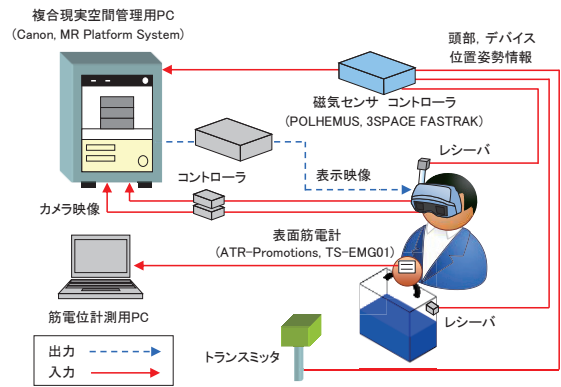


図 1 システム構成

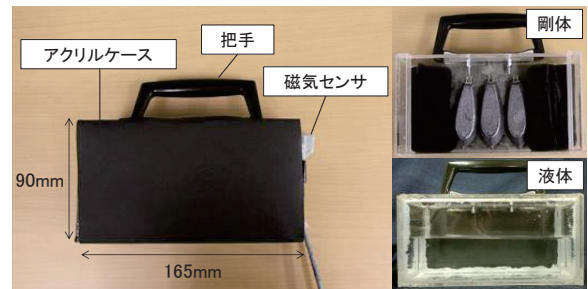


図 2 実験で使用した実物体



(a) 固定 (b) 順方向 (c) 逆方向

図 3 実験で使用した MR 型視覚刺激

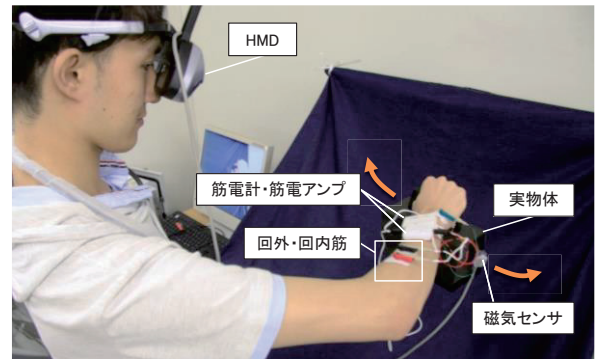


図 4 実験風景

表 1 実験で使用する MR 型視覚刺激の種類

パターン	実物体	視覚刺激
P1	剛体	CG なし
P2		CG あり (固定)
P3		CG あり (順方向)
P4		CG あり (逆方向)
P5	ケースに水を封入	CG なし
P6		CG なし (液体視認)
P7		CG あり (固定)
P8		CG あり (順方向)
P9		CG あり (逆方向)

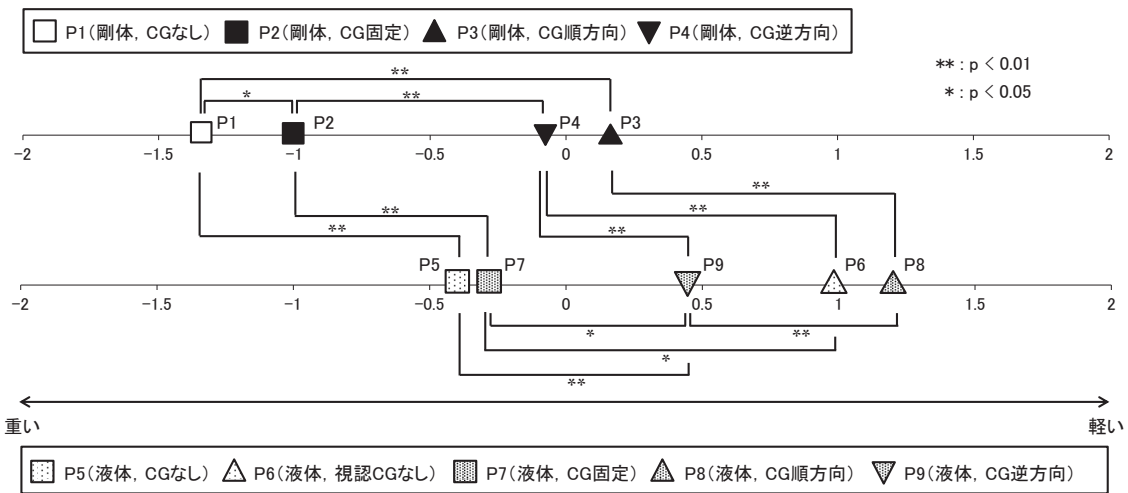


図5 実験1の結果

3.2 実験手順

実験手順はサーストンの一対比較法に基づいており、どちらが重く感じたかを二者択一で選択する。被験者が3つ以上の選択肢で迷うことなく、簡便に心理尺度を構成する方法を採用した。試行回数は被験者1名あたり $9C_2 = 36$ 回、被験者は11名(20代の男性10名、女性1名)である。実験時は、図4のように姿勢や振る動作を統制するように教示した。姿勢は、起立して肘を90度に屈曲させた状態で実物体を把持させている。振り動作はメトロノームのテンポ(100BPM)に合わせた。振り幅も実物体の傾きが左右30度(水平のときを0度とする)以上となると音で通知し、左右30度程度で一定に振るよう教示した。被験者には、教示した通りできるようになるまで事前に十分練習させた。実験手順を以下に示す。

- (1) 被験者にHMDを装着
- (2) 全9種類の提示パターン(表1)から2種類をランダムに選出し、1つを被験者に提示
- (3) 被験者は決められた姿勢(肘を90度に屈曲)で実物体を把持し、メトロノームのテンポ(100BPM)に合わせて、物体を左右に振る(3秒間)
- (4) (2)で選出したもう一方のCGについても同様に(2)(3)を繰り返す
- (5) 1回目と2回目の試行を比較し、どちらがより重く感じるかを回答
- (6) 筋疲労の影響を排除するために十分なインターバルを設ける
- (7) 残りの組み合わせも、(2)~(6)を繰り返す

3.3 結果と考察

実験1の結果を図5に示す。図中の2本の数直線は、重さの心理尺度を示しており、数値が小さくなるにつれて、被験者は把持物体をより重く感じたことを示す。図より以下のことがわかる。

- (i) P5(液体・CGなし)はP1(剛体・CGなし)よりも軽く知覚される
- (ii) P7(液体・CG固定)はP6(液体・視認CGなし)

よりも重く知覚される

- (iii) P4(剛体・CG逆方向)はP1よりも軽く知覚される
- (iv) P9(液体・CG逆方向)はP5よりも軽く知覚される
- (v) 実物体が剛体、液体にかかわらず、CGなし、固定、逆方向、順方向の順に軽く知覚される

P1とP5はCGが描画されておらず、真っ黒なケースを振っている状態となる。よって、(i)の結果から、視覚刺激の影響がない場合、物体内部に動的な変化がある方が軽く知覚されることがわかる。

P7は動的な実物体に対して静的な視覚刺激を提示することで、P6よりも重く知覚されている。よって(ii)の結果から、実物体内部の運動状態が動的・静的のどちらの場合でも、仮想物体の運動状態との差異が生じた場合、視覚刺激によって重さ知覚に影響を与えることがわかる。

(iii)(iv)の結果では、P4(剛体・CG逆方向)とP9(液体・CG逆方向)のように振り動作に対して逆方向に視覚刺激を提示すると、CGなし条件に比べて軽く知覚されている。よって、現実とは違う条件であっても、動的な変化を視覚的に提示することで重さ知覚に影響を与えることがわかる。

また、(v)の結果のように、実物体が剛体、液体にかかわらず、視覚刺激がCGなし、固定、逆方向、順方向の順で、物体が軽く知覚されている。このことから、MR型視覚刺激を提示することで視覚的のバイアスがかかり、物体が軽く知覚され、その影響度は固定・逆方向・順方向の順で高いことがわかる。

4. 実験2

4.1 実験内容

MR型視覚刺激が物理的な力覚にも影響を及ぼしているならば、各条件で観察される筋電位にも差が見られる可能性がある。そこで実験2では、各条件での筋電位とその変化を分析する。具体的には、実験1同様、表1の全9パターンについて、筋電位を計測する。

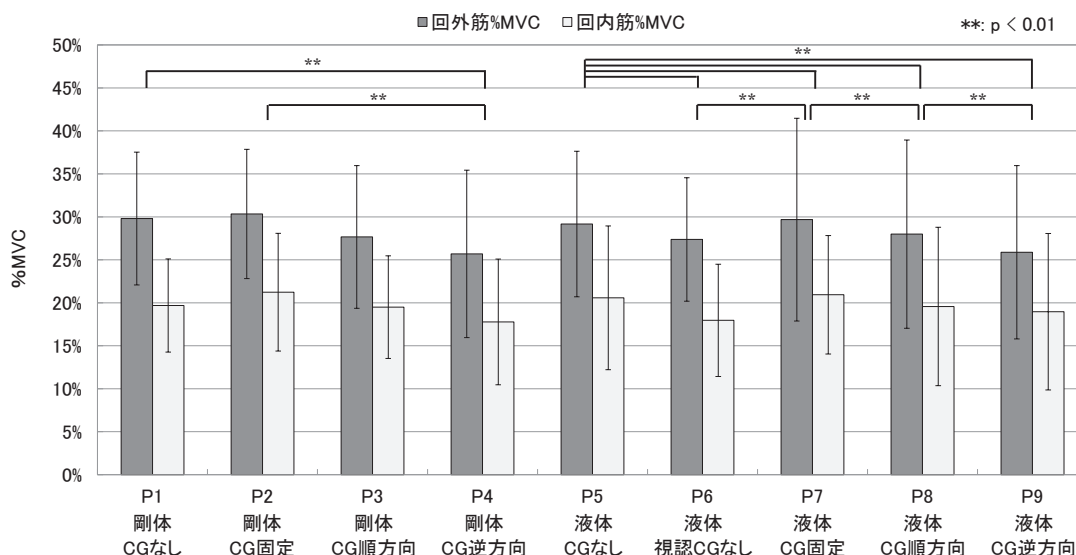


図6 実験2の結果

4.2 実験内容

被験者には計9種類(表1)の条件を提示する。被験者は実験1に参加した11名のうち、20代の男性5名である。実験1と同様の振り動作に統制するため、振るテンポや姿勢を教示し、その通りできるようになるまで事前に十分練習させた。実験手順は、実験1と同様である。

4.3 結果と考察

実験2の結果を図6に示す。図は、提示パターンごとに%MVCの平均値と標準偏差を示している。図中の有意差は、回外・回内筋ともに確認できたものである。図より以下のことがわかる。

- (i) 回外・回内筋ともに同じ傾向を示している
- (ii) P1(剛体・CGなし)と比較すると、P3(剛体・CG順方向)とP4(剛体・CG逆方向)は筋活動量が減少
- (iii) P5(液体・CGなし)と比較すると、P8(液体・CG順方向)とP9(液体・CG逆方向)は筋活動量が減少
- (iv) P2(剛体・CG固定)、P7(液体・CG固定)の条件では、それぞれのCGなし(P1, P5)の条件と比較すると、筋活動量に差異はない

(i)の結果から、%MVCの平均値は回外・回内筋で、同等であると考えられる。実験1では、P1(剛体・CGなし)よりもP3(剛体・CG順方向)とP4(剛体・CG逆方向)の方が軽く知覚されていた。実験2の(ii)の結果でも、P1よりもP3, P4の方が、筋活動量が減少しており、被験者の主観と同じ傾向となった。同様に液体条件の場合についても、実験1では、P5(液体・CGなし)よりもP8(液体・CG順方向)とP9(液体・CG逆方向)の方が軽く知覚された。実験2の(iii)の結果でも同様に、P5よりもP8, P9の方が、筋活動量が減少している。よって、軽く感じた条件に関して筋活動量が減少する傾向が見られる。更に、実験1ではP2(剛体・CG固定)、P7(液体・CG固定)の条件とそれぞれのCGなし(P1, P5)の条件で重さ知覚に大きな差異はないが、実験2の(iv)の結果においても筋活動量は減少しておらず、実験1と同傾向である。

よって、実験1、実験2の結果から、筋活動量が減少した場合に、主観的にも軽く知覚していることがわかる。

(ii)(iii)の結果から、剛体・液体の両条件に関して、動的な視覚刺激による影響が確認できた。また、運動に対して逆方向(P4, P9)に提示した場合も同等に、視覚刺激による影響を確認することができた。

5. むすび

本稿では、先行研究で確認した剛体の条件に加え、液体の条件についても錯覚現象が生起することを、実験を通して確認した。また、振り動作に対して、動的な変化を逆方向に提示した場合であっても、重さ知覚に影響を及ぼす結果となった。今後は、このような視覚的な矛盾によって錯覚が発生した要因を探るべく、系統的实验を通して追っていく予定である。

本研究の一部は、科研費・基盤研究B「複合現実型視覚刺激が及ぼす触印象に関する研究」、科研費・若手研究B「複合現実空間における痛覚・温冷覚提示に関する研究」による。

参考文献

- [1] 「クロスモーダル/マルチモーダル特集号」, 日本VR学会論文誌, Vol. 18, No.2, 2013.
- [2] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard and P. Coiffet: "Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?," Proc. IEEE Virtual Reality, pp. 83 - 90, 2000.
- [3] 平野有一, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: "Dent-Softness Illusion: 複合現実型視覚刺激による硬さ知覚への影響", 日本VR学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 271 - 278, 2011.
- [4] 木村朝子, 杣田明弘, 面迫宏樹, 柴田史久, 田村秀行: "Shape-COG Illusion: 複合現実感体験時の視覚刺激による重心知覚の錯覚現象", 同上, Vol. 16, No. 2, pp. 261 - 269, 2011.
- [5] 佐野洋平, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: "動的に変化する複合現実型視覚刺激が重さ知覚に与える影響", 同上, Vol. 19, No. 2, pp. 255 - 264, 2014.