



## 錯覚現象 R-V Dynamics Illusion における各種刺激の影響分析(2)

### ～実物体の重量を変更した場合の実験結果～

大嶋佳奈, 片岡佑太, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子

立命館大学 情報理工学部

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

**概要:** MR 技術を用い, 手の振りに応じて物体内部の液体が揺れる CG 映像を実物体に重畳描画したところ, 予想以上の錯覚現象が知覚された. 我々は, このような実物体と仮想物体の異なる運動状態が引き起こす錯覚現象を R-V Dynamics Illusion と命名した. 先行研究では, 実物体内部の重量を一条件に固定して確認実験を行った. しかし, 実物体内部の重量が変化した場合にも, 同様の錯覚現象が発生するかは不明である. そこで本研究では, 実物体内部の重量を変更し, 重さ知覚に与える影響について主観実験より確認した.

**キーワード:** 複合現実感, 重さ知覚, R-V Dynamics Illusion

#### 1. はじめに

複合現実 (Mixed Reality; MR) 空間では, 仮想空間と現実世界を実時間で継ぎ目なく融合することができる. この際, 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ると, 感覚間の相互作用により疑似的な触力覚が知覚されることがある. 我々は, このような視覚と触力覚との相互作用について研究を行っている [1-4].

その一つとして, 我々は把持物体に大きさの異なる形状の仮想物体を重畳描画することによって, 重心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 [3][4]. 更に, 手の振りに応じて物体内部の液体が揺れる CG 映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 と命名した [5]. 我々は, まず視覚刺激による影響の分析から着手し, これまで同錯覚現象に関する実験は, 実物体の重量を一条件に固定して行ってきた. しかし, 重さ条件が変わることによって, 錯覚現象の発生や, その弁別閾に違いが生じる可能性がある. そこで, 本論文では, 異なる重量の実物体が R-V Dynamics Illusion に与える影響について述べる.

#### 2. 実験準備

##### 2.1 実験目的

先行研究では, 視覚刺激による影響を確認するために, 触力覚条件 (実物体内部に入れた錘の重量など) は一定と

していた. また, MR 型視覚刺激の条件として, 揺れの有無, 液体容量, 液面加速度を変更したところ, それぞれの視覚刺激によって重さ知覚に影響を与えることを確認した. しかし, 重量などの触力覚条件が変われば, 錯覚の生じやすさも変わる可能性がある.

そこで, 本研究では, 実物体の重量を変更し, その重量の差異が錯覚に与える影響について確認する. 実験 1 では実物体の重さを変えた場合でも, 同様に R-V Dynamics Illusion が発生するかを確認する. また, 実験 2 では極限法を用いて, 異なる重量の実物体において仮想物体の液体量による重さ知覚の弁別閾を確認する.

##### 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. 体験者の頭部と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, 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ている. また, 高さ 45mm まで水を入れた際の重さと同じになる 750g を基準に, 500g, 1000g の 3 種類の錘を使い, 重さの異なる 3 つのケースを用意した (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とし, 高さ 45mm の位置まで液体を重畳描画している. 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について、振り動作に対して揺れなし、揺れありの 2 種類と、仮想物体を重畳描画しない、計 3 種類の視覚条件を設定した（図 3）．揺れなし条件では、液体の揺れを表現せずに、振り動作に対して剛性となる．揺れあり条件では、液体の揺れを模した簡易モデルを適用し、振り動作に対して現実世界と同様の動きを再現する．また、仮想物体を重畳描画しない場合は、HMD 越しに実物体そのものを見て実験を行った．

### 3. 実験 1: 各種重量での R-V Dynamics Illusion の確認

#### 3.1 実験目的

実験 1 では、サーストンの一対比較法に基づいて、実物体内部の重量を変えることで、重さ知覚に差異があるかを確認する．

実験で用いる実物体は、重量の異なる 3 種類の剛体であり、視覚条件は、仮想物体なし、揺れなし、揺れありの 3 種類である．これらの条件を組み合わせた、計 9 パターンで実験を行った（図 4）．

#### 3.2 実験内容・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 9 回、被験者は 10 名（20 代の男性 8 名、女性 2 名）である．実験時は、図 5 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）以上となると音で知らせ、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 を装着する
- (2) 重さが異なる 3 つの実物体から 1 つ選出する
- (3) 3 種類の仮想物体（図 4）から 2 種類をランダムに選出し、1 つを被験者に提示する
- (4) 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（5 往復）
- (5) (3) で選出したもう一方の仮想物体についても同様に (4) を繰り返す
- (6) 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させる
- (7) 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
- (8) 残りの仮想物体の組み合わせも、(3)～(7) を繰り返す
- (9) 残りの実物体の組み合わせも、(2)～(8) を繰り返す

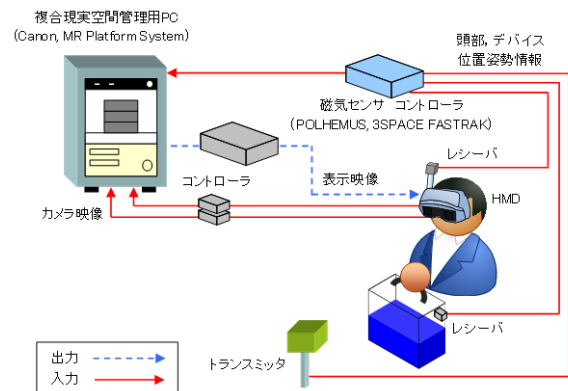
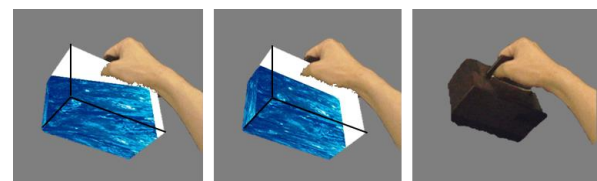


図 1 システム構成



図 2 実験で使った実物体



(a) 揺れなし (b) 揺れあり (c) CG なし

図 3 実験で使った MR 型視覚刺激

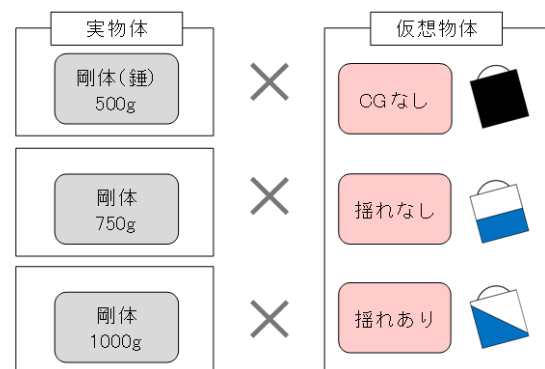


図 4 実験 1 の条件



図 5 実験風景

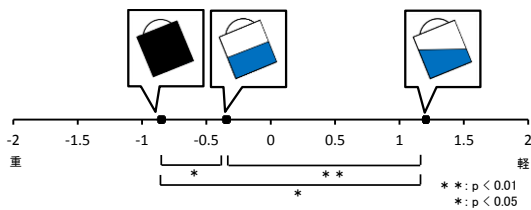


図 6 実験 1 の結果 (500g)

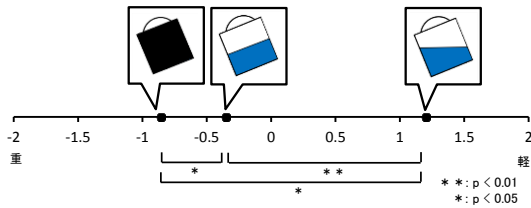


図 7 実験 1 の結果 (750g)

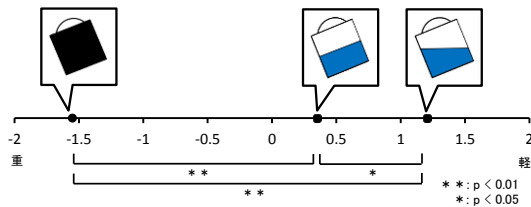


図 8 実験 1 の結果 (1000g)

### 3.3 結果と考察

実験 1 の結果を図 6 から図 8 に示す。図中の数直線は、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) 実物体の重さに関わらず、CG なし、揺れなし、揺れありの順に軽く感じられる
- (ii) 1000g の場合、CG なしと揺れなしとの間に差が大きく開いている

(i) の結果より 500g, 750g, 1000g のすべての条件で、振り動作に対して液面が動くアニメーションを付与することによって、物体を軽く知覚した。先行研究においては、750g で実験を行い、本錯覚現象を確認していたが、500g のように実物体が軽い場合や 1000g のように実物体が重い場合でも同様に本錯覚現象が生じることを確認した。

(ii) の結果は、1000g 時の CG なしと固定の条件に関して、心理尺度の差が大きくなった。被験者からは、実物体の重量が重い方が、重さの判別がしやすいというコメントがあった。よって、実物体の重量が変化しても本錯覚現象は生じるが、重量によって弁別しやすさに差異が生じる可能性がある。

## 4. 実験 2: 各種重量での弁別閾の確認

### 4.1 実験目的

重畳描画している仮想の液体の容量が、重さ知覚に影響

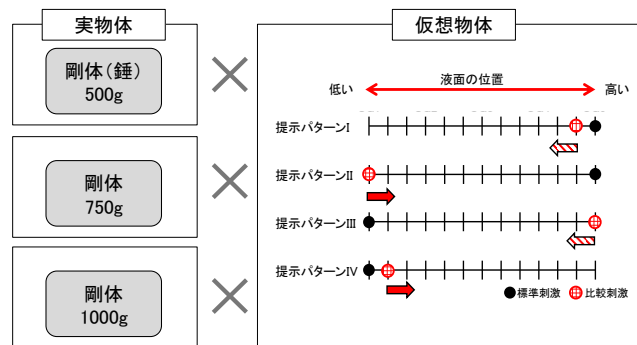


図 9 提示パターン

表 1 実験 2 で使用する MR 型視覚刺激の種類

CG パターン	液面位置
P1	27mm
P2	30mm
P3	33mm
P4	36mm
P5	39mm
P6	42mm
P7	45mm
P8	48mm
P9	51mm
P10	54mm
P11	57mm
P12	60mm
P13	63mm

を与える際の弁別閾を確認する。また、実物体の重量の違いによって、弁別閾に差異が生じるか明らかにする。

### 4.2 実験内容・条件

図 9、表 1 の組み合わせで、極限法によって、重さ知覚に影響を与える弁別閾を確認する。実験で用いる MR 型視覚刺激は液体部分の容量を 3mm ずつ変化させた 13 種類 (表 1) を用いる。1 つの実物体に対して、標準刺激と比較刺激を順に提示・比較し、重さの違いを感じるかどうか確認する。標準刺激は固定し、比較刺激のみ図 9 に示す矢印の方向に順に変更して同様の試行を行い、どの段階で重さの違いを感じるようになるか、または感じなくなるかを調べる。図 9 に示す 4 種類の提示パターン I ~ IV に対して同様の実験を行い、弁別閾を求める。

### 4.3 実験手順

- (1) 被験者に HMD を装着する
- (2) 重さが異なる 3 つの実物体から 1 つ選出する
- (3) 4 種類の提示パターン (図 9) から重畳描画する視覚刺激の種類および順序をランダムに 1 パターン選出する
- (4) 実物体に、(3) で選出したパターンにしたがって液体を重畳描画し、被験者は決められた姿勢で実物体を把持し、メトロノームのテンポに合わせて物体を左右に振る動作を行う
- (5) 標準刺激と比較刺激の 2 種類の試行を比較し、重さの違いを感じるか回答させる (被験者が回答できるまで、

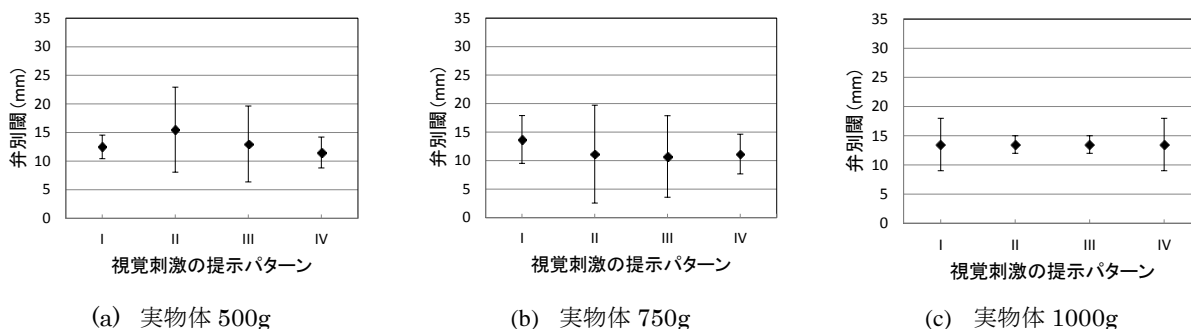


図 10 実験 2 の結果

(4)(5) を繰り返す)

- (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) パターン I, IV では差を感じる, パターン II, III では差を感じないと回答するまで, 1 段階ずつ液面位置を変えて (5), (6) を繰り返す
- (8) 残りの実物体でも (2)~(7) を繰り返す

#### 4.4 結果と考察

実験 2 の結果を図 10 に示す. 図 10 は, 実物体の重量ごとに, 弁別閾を示したものである. 図より以下のことがわかる.

- (i) どの重量の場合でもパターン I と II, III と IV で大きな差はない
- (ii) すべての重量において弁別閾は 10~15mm 付近
- (iii) 1000g において, 弁別閾のばらつきが減少

(i) の結果から, 提示パターンをランダムに選択し, I と II, III と IV に差異がないので, 実験 2 では順序効果はないものと考えられる. よって, 昇順・降順のどちらの順序でも同じ結果が得られることを示した.

(ii) の結果から, すべての重量で弁別閾は 10~15mm であり, 実験 1 で想定とは逆で弁別閾に差異を生じなかった. よって, 実物体の重量によらず, 仮想物体の液体容量に依存して重さを弁別していることがわかる. 特に容器が同じ大きさで容量も同じであれば, 重さの弁別閾は変化しないことになる.

しかし, (iii) の結果のように, 1000g の場合には弁別閾は変化しないものの, ばらつきが減少し, 判別しやすくなっていることがわかる. 実験 1 で被験者からコメントがあったように, 重量が重くなると, 視覚による影響をより明確に知覚できるようになることが示唆される.

#### 5. むすび

本稿では, 実物体の重量の違いによる, R-V Dynamics Illusion の発生と弁別閾を確認した. 実験結果を分析・整理した結果, 以下のような知見が得られた.

- (a) 重量を変更しても R-V Dynamics Illusion は発生する
- (b) 重量によって仮想物体の液体容量による重さの弁別閾は変化しない
- (c) 重量が重くなるほど, 重さを弁別しやすくなる

これらの結果から, 重量が変わっても R-V Dynamics Illusion は発生するが, 重量と仮想物体の容量による重さの弁別には差異がないことがわかった. しかし, 重量が重くなるほど, 重さを弁別しやすくなっていることは, 興味深い知見である.

今後の課題として, 実物体の重量をさらに変化させた条件において, 同様に錯覚現象が発生するかを検証し, 実物体の重量と R-V Dynamics Illusion の関係から錯覚のメカニズムの解明を行っていく.

**謝辞** 本研究は, 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] 家崎明子, 柚田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “複合現実型視覚刺激による蝕印象への影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 13, No. 2, pp. 129 - 139, 2008.
- [2] 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”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 271 - 278, 2011.
- [3] 木村朝子, 柚田明弘, 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”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp. 261 - 269, 2011.
- [4] 面迫宏樹, 木村朝子, 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(第 2 報)”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 2, pp. 117 - 120, 2013.
- [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”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 2, pp. 255 - 264, 2014.