

R-V Dynamics Illusion が内容量推定に与える影響の分析

奥川夏輝^{†1} 片岡佑太^{†2} 橋口哲志^{†1} 柴田史久^{†1} 木村朝子^{†1}

概要 : 我々は, Mixed Reality (MR) 空間において実物体 (R) と仮想物体 (V) が異なる運動状態の場合に引き起こされる錯覚現象 R-V Dynamics Illusion を発見した. これまで, 水の入った実物体に, CG 映像を重畳描画することで, 重さ知覚に影響を与えることを確認した. ここで, CG 映像の水量を変化させることは, 内容量知覚にも影響を与えるのではないかという疑問が生じた. そこで本稿では, CG 映像の重畳描画が実物体の内容量知覚に与える影響について分析する. 更に, CG の液体容量を変えた場合についても実験を行い, 考察する.

キーワード : R-V Dynamics Illusion, Mixed Reality, ダイナミックタッチ, クロスモーダル

1. はじめに

実空間と仮想空間を実時間で継ぎ目無く融合する複合現実感 (Mixed Reality; MR) は, 人工現実感 (Virtual Reality; VR) の発展系として注目を集めている. これまでの MR 研究では, 幾何学的整合性や光学的整合性といった視覚的融合を目指したものが多く, 医療や教育, 娯楽といった分野に応用されてきた一方で, 最近では多感覚融合 (視覚, 触覚, 聴覚) を目指した研究も行われている.

MR 空間では, 現実世界に存在する物体はそのまま利用しつつ, 付与させたい情報を電子的に生成して融合することが可能である. 例えば, 掌に乗る大きさの実物体に対して, その実物体と同程度の重さが想定されたゲームなどのキャラクターの CG モデルを重畳描画することで, CG モデルによる視覚と, 実物の触覚を融合することができる.

さらに, この MR 技術を利用すれば, 視覚と触覚が異なるという, 現実世界では起こり得ない状況を意図的に表現することも可能である. また, 人の触覚は視覚刺激の影響を受けることが知られている. そのため, 視覚と触覚が異なる状況を作り出すことで, 知覚する触覚に変化を起こすことが可能である. 視覚と触覚の間に齟齬を生じさせ, 触覚の変化を狙った例として, Pseudo-Haptics という錯覚現象が知られている. この現象は, 身体動作とそれを反映した視覚刺激との間に齟齬を生じさせることで, 触覚提示装置を用いることなく, 擬似的な触覚が生起する錯覚現象である.

我々の研究グループでも, MR 空間において視覚と触覚との間に齟齬を生じさせることで, 触覚に様々な変化が生じることを確認してきた [1-3]. その過程で, 実物体 (剛体) 内部に液体が入っているように見える仮想物体を重畳描画し, 被験者の手の振りに応じて仮想物体の液体を揺ら

すと, 触覚が変化するという錯覚現象を発見した. 我々はこの現象を, 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 R-V Dynamics Illusion と命名し, 種々の触覚の中でも, 特に顕著な変化があった重さ知覚に着目して系統的な実験を行ってきた [4][5].

ここで, 重さ知覚に着目した実験では, 実物体 (剛体) に対して, 仮想の液体の水量を変化させると重さ知覚に影響を与えることが確認されている. つまり, 視覚的な内容量が重さ知覚に影響を与えており, 水量に対する心理的なバイアスが, 重さ知覚に変化を与えていることが考えられる. 容器に錘を入れた剛体条件では, 重さ知覚を見た目の水量によって操作できることから, 実物の水を入れた液体条件では, 水量を視覚的に変化させることで, その水量自体を錯覚させることができる可能性がある. これまでの研究 [4][5] では, 錯覚現象を主観的な重さで考察してきたが, 内容量知覚に着目することで, より定量的な考察を行うことが可能となる.

そこで本稿では, まず実物体内部の水量に対する内容量推定の精度を確認する. そして, 水を入れた実物体に液体が入った仮想物体を重畳描画して実験を行い, 仮想物体の水量の変化が内容量知覚に与える影響について分析, 考察していく.

2. 関連研究

我々は物体の長さ, 重さや形状といった特性を, 対象物体への接触・保持行動などによって知覚することが可能である [6-8]. この筋感覚が伴う探索行動は, 総称してダイナミックタッチと呼ばれ, 人の知覚を力学的に考察する取り組みが長きに渡り行われてきた [9].

中でも, 物体に対する随意運動を伴う能動触 (Active Touch) は, 機械受容器の集成的な賦活により, 受動触と比べて明確に物体の特性が知覚できることがある. 例えば, 重さに関する知覚では, 物体間の差異を判断できる弁別閾について, 数倍も感度が高くなることが報告されている [10]. また Plaisier らは, 容器内に入れた木製球の個数を,

^{†1} 立命館大学 情報理工学部
Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

^{†2} 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University

手で振ることによって概ね正しく推定できることを示している [11]. この研究では、振り動作が被験者によって異なり、触形態が統一化されていないが、ダイナミックタッチは内容量推定という観点でも有効であることが伺える. そこで本研究では、対象を水、振り動作を被験者間で統一した場合において、内容量を推定するアプローチをとる.

また、感覚を定量化したことで著名な Weber-Fechner の法則は、感覚値が刺激量の対数に比例することを示している [12]. つまり、刺激量が大きいほどその弁別閾が広くなることから、感覚が曖昧になることがわかる. 重さや音など、様々な感覚において本法則が成り立ち、内容量という観点でも同様の傾向が観察される可能性は高い.

以上のように、知覚を物体の力学的性質から紐解くことに対し、近年では複数感覚の情報を補完し合い、別の感覚を生起させる、クロスモーダルの研究が活発化している [13]. 我々は、外界から得られる情報を、特殊感覚や体性感覚を通して、独立ではなく相補的に働かせて処理している. この相互作用の特性を活かした研究事例として Lecuyer らは、マウス操作とポインタの視触覚間に敢えて差異を生起させることで、触力覚提示装置を使用せずとも、抵抗感や摩擦感が発生する Pseudo-Haptics について報告している [14][15]. このように、触覚間の差異を積極的に活用することにより、通常では発生し得ない感覚を作り出すことが可能となる.

また、人は複数感覚間に不調和があった場合、視覚優位となって統合される傾向にある. これにより、視覚的に対象の見た目を変調させることで、視覚のイメージに添った感覚変化を生起させることも可能である. Rock らは、物体の大きさや形を縮小レンズ越しに判断させたところ、視覚的な物体の性質が優先される傾向にあることを報告している [16]. このような視覚の優位性は、実世界だけではなく、VR/MR 環境下でも生起される. Parinya らは、物体を指で押し込む際、プロジェクション技術によって物体の模様の変容を投影することで、硬さ知覚を自由に操作することを報告している [17]. よって、内容量という観点においても、視覚的な操作によって知覚を変化させることができる可能性は十分にある.

そこで本研究では、まず把持物体に対する内容量推定の精度を確認する. さらに、MR 技術によって内容量を視覚的に変化させた際、どのように影響を受けるか定量的に確認することを目指す.

3. 実験目的と実験準備

3.1 実験目的

本研究では、水を入れた実物体に、液体を模した仮想物体を重畳描画し、仮想の水量を変化させることで、内容量知覚に与える影響について分析する. まず実験 1 では、内部の水量が見えない状態で実物体を振らせ、どれほど正し

く水量を推定できるか確認する. 次に実験 2 では、実物体内部の水量と同じ仮想物体を重畳描画した場合、被験者が知覚する水量の誤差にどのような影響を与えるか確認する. 最後に実験 3 では、実物体内部の水量と異なる仮想物体を重畳描画した場合、被験者の知覚にどのような影響を与えるか確認する.

また、内容量知覚には、視覚の他に聴覚が影響していることが考えられる. そのため全ての実験において、実物体内部からの水の音が聞かせる場合と聞こえない場合の 2 パターンについて実験する.

3.2 実験準備

【実験環境】

実験で用いた MR システムの構成を図 1 に示す. MR を実現するためのシステムとして、ビデオシースルー型 HMD (Canon, HM-A1) および Canon MREAL を用いる. また、被験者の頭部と実物体の位置姿勢情報を、磁気センサ (Polhemus, 3SPACE FASTRAK) によって取得することで、実物体上に仮想物体を重畳描画している.

さらに、MR 空間を観察する際、単純に仮想物体を重畳描画すると、仮想物体が実物体よりも手前に描画されるオクルージョン問題が発生する. この問題に対し、HMD からのキャプチャ画像に対し、手領域の抽出とマスキングを行い、手領域に CG 映像が描画されないよう処理する. また、実物体内部からの水の音を遮断する条件でも実験を行うため、外部の音を遮断しホワイトノイズを提示可能な、密封型ヘッドホン (Peltor 社, Htm79a) を使用する. 水の音を聞かせる場合はヘッドホンを外し、遮断する場合はヘッドホンを装着させてホワイトノイズを提示する.

【実物体】

実験では、把手を取り付けたアクリルケース (幅 165mm×高さ 90mm×奥行き 80mm) を水の入った実物体として用いる. また、中の水量がケースの高さの 25% (22.5mm), 50% (45mm), 75% (67.5mm) となる 3 種類のケースを用意した. また、実験中に被験者から内部の様子が確認できないように、ケースの一部を暗幕で覆い、暗幕

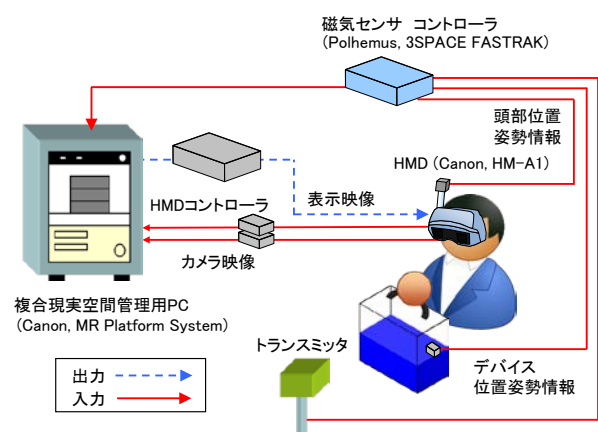


図 1 MR システムの構成



図2 実験で使用する実物体

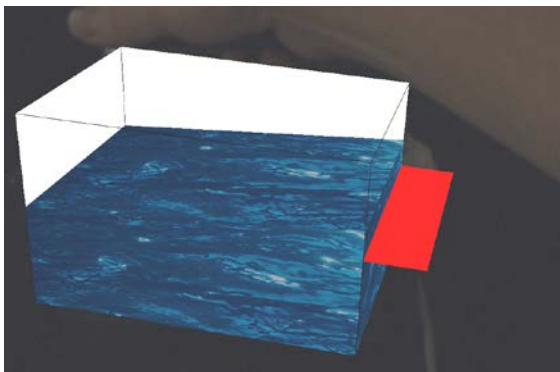


図3 重畳描画する仮想物体

で覆われた面のみが見える状態で把持させる (図2)。

【仮想物体】

仮想物体として提示する容器の寸法は、実物体と同様の大きさ (幅 165mm×高さ 90mm×奥行き 80mm) を基準とし、容器内に提示する水の高さも実物体の水量と同様に 25% (22.5mm), 50% (45mm), 75% (67.5mm) の3種類とする。また、重畳描画する容器の右上の角にゲージを描画する。ゲージはキーボードで上下に移動させることができ、被験者は実験 2, 3 においてゲージの高さを調節することで推定した水量を回答する。重畳描画する仮想物体のうち容器内の液体の部分は青、容器の内壁面は白、回答用のゲージは赤で着色されている (図3)。

被験者は、実物体を左右方向にしか振らないという条件のもと、しぶきや波のような詳細表現は行わず、液面は直線に近似して、液体の揺れを簡易表現した。運動アルゴリズムについては先行研究 [4] を参照されたい。

3.3 評価方法

実験の評価方法として、被験者が推定した内容量の平均値を算出する方法と、実物体の内容量との誤差や CG の影響量を算出する方法の2つの側面で評価を行う。後者の評価方法の概念を図4に示す。式 (1)(2)(3) の推定誤差 E とは、被験者が推定した水面位置と実物体内部の水面位置との差の絶対値である。

実験3では実際と異なる仮想物体の水量を提示した場合

に、被験者の推定した水量の誤差にどれほど影響を与えたかを確認するために、仮想物体の水量が影響していないと考えられる場合における推定誤差を 0 にする必要がある。そのため、仮想物体と実物体との水面位置の関係で場合分けを行う。式 (2) は仮想物体の水面位置が実物体内部の水面位置より高い場合に、式 (3) は低い場合に用いる。式 (2) では被験者が回答した水面位置が、実物体内部の水面位置より高い場合のみ推定誤差としている。これは、仮想物体の水面位置が実際の水面位置より高いにも関わらず、回答した水面位置が実際の水面位置より低い場合、内容量推定の誤差に対して仮想物体の効果が表れていないと考えられるためである。式 (3) においても同様の理由である。

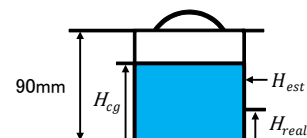
4. 実験1: 仮想物体を重畳描画しない場合の容量推定における誤差の確認

4.1 実験目的

仮想物体の変化が内容量知覚に影響を与えるかを確認するためには、まずは本研究の実験環境において実物体内部の水量をどれほど正しく知覚できるか確認する必要がある。そこで実験1では、仮想物体を提示せず、被験者が実物体内部を確認できない条件で、水量をどのくらい推定できるかを確認する。

4.2 実験条件

実験1では、水の入った実物体を3種類 (図2) を使用した。被験者に実物体を振らせ、推定した内部の水量を実物体に直接指示することで回答させる。このとき、振り方に関しては左右方向に、かつ傾ける角度は左右それぞれ約30度にするよう教示する。ただし、被験者が実物体を振る時間は自由としている。実験1では仮想物体を提示しないが、実験2, 3と条件を統制するため、被験者にHMDを装着させる。また、試行を連続で行わせると腕の疲労により内容量知覚に影響を与えてしまう可能性があるため、



H_{real} : 実物体の水面位置
 H_{cg} : 仮想物体の水面位置
 H_{est} : 推定した水面位置

[実験1, 2]

$$\text{推定誤差 } E = |H_{est} - H_{real}| \quad (1)$$

[実験3]

$$H_{cg} > H_{real} \quad \text{推定誤差 } E = \begin{cases} |H_{est} - H_{real}| & \text{if } (H_{est} > H_{real}) \\ 0 & \text{if } (H_{est} < H_{real}) \end{cases} \quad (2)$$

$$H_{cg} < H_{real} \quad \text{推定誤差 } E = \begin{cases} |H_{est} - H_{real}| & \text{if } (H_{est} < H_{real}) \\ 0 & \text{if } (H_{est} > H_{real}) \end{cases} \quad (3)$$

図4 実験の評価方法

試行間に、腕に疲労や違和感が無いかを確認する。ヘッドホンの有無によって音を遮断する場合と聞かせる場合を分けているが、条件変更後すぐに実験を続けると音の有無を直接比べられてしまう恐れがあるため、水の音の条件を変更する場合はインターバルを設ける。さらに、試行毎で水量が異なる実物体を振らせた場合、前試行の重さと比較して回答する可能性があるため、1日につき1種類の水量のみでの試行とする。被験者は成人11名(男性9名,女性2名)で、試行回数は1名あたり3×2(実物体の水量×水の音の有無) = 6回である。

4.3 実験手順

具体的な実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者に HMD を装着させる
- (2) 3種類の実物体のうち1つをランダムに選択する
- (3) 被験者に実物体を持たせる
- (4) 被験者に実物体内部の水量が推定できたと感じるまで実物体を振らせる
- (5) 推定した内部の水量を実物体に直接指示させる
- (6) 筋疲労による影響を排除するためにインターバルを設ける
- (7) 同一の水量の実物体で、時間をおいてからヘッドホンを装着させて(3)~(6)を行う

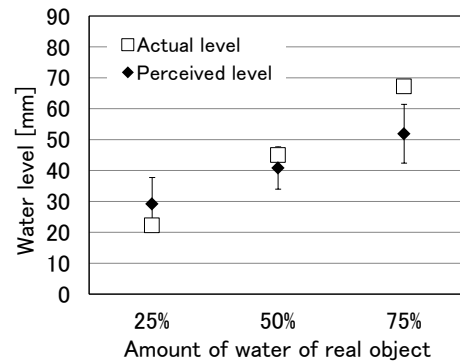
各水量の条件間において、1日以上以上の期間を空けた上で(1)~(7)を繰り返し行う。

4.4 実験結果

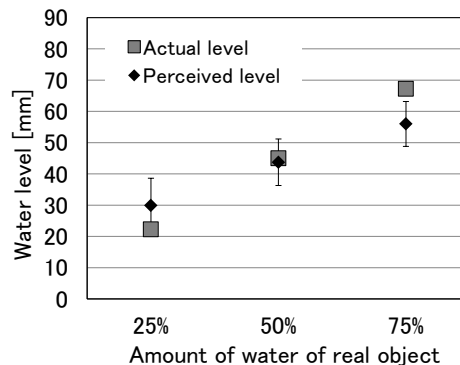
実験結果を図5、図6に示す。図5(a)、図6(a)は実物体内部からの水の音を遮断した場合、図5(b)、図6(b)は水の音を聞かせた場合の結果である。図5は水量の平均値を表しており、プロットされたマーカの意味は、◆が被験者の回答した水面位置の平均値、□と■は実物体内部の水面位置である。被験者が回答した水面位置(◆)が実物体内部の水面位置(□と■)に近づくほど、内容量が正しく知覚できていることを表す。図6は被験者が推定した水量と実物体内部の水量との誤差を表しており、値が小さいほど内容量推定の精度が高いことを表す。

図5より、実物体内部の水量ごとの、推定精度の傾向が読み取れる。特に水量50%の条件では、回答位置の平均と実際の水面位置が殆ど同じであり、高い精度の推定が可能であることがわかる。さらに、被験者による水量の推定誤差が、実際の水量が75%、25%、50%の順に小さくなっていることが図6の両方から読み取れる。

Steel-Dwass 法による検定を行ったところ、水の音を遮断した条件では50%と75%の条件間で推定誤差の有意差を確認し($p < .05$)、水の音を聞かせた条件では有意傾向を確認した($p < .10$)。また、有意差は確認できなかったが、水の音を遮断した条件に比べ、水の音を聞かせた条件では、全体的に誤差が同等または小さくなっていることが確認で

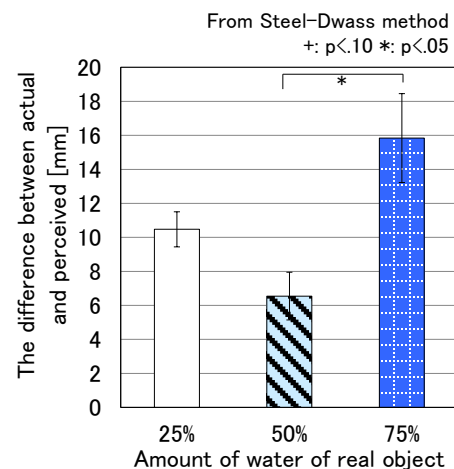


(a) 水の音なし

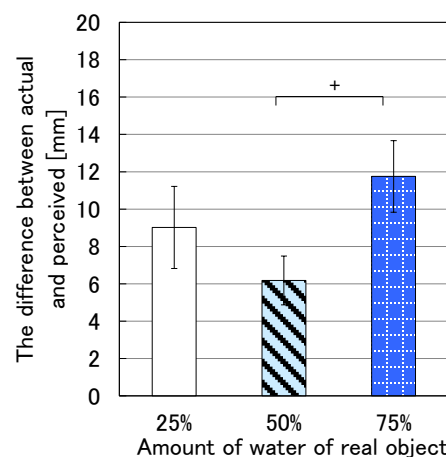


(b) 水の音あり

図5 水面位置の平均と実際の水面位置



(a) 水の音なし



(b) 水の音あり

図6 推定した水量と実際の水量との誤差の平均

きる。これは、内容量知覚に触覚情報だけでなく聴覚情報も判断材料となっている可能性を示している。この傾向は誤差が大きい水量ほど顕著に見られる。

5. 実験 2：実際の水量と同じ仮想物体の提示が容量推定における誤差に与える影響の確認

5.1 実験目的

実験 2 では、実物体内部の水と同じ水量の仮想物体を重畳描画することで、実験 1 で確認した内容量推定の誤差がどれほど変化するかを確認する。つまり、実物体内部の水量と同一の仮想物体を提示した場合の内容量知覚に与える影響を確認する。

5.2 実験条件

実験 2 における、実物体と仮想物体の組み合わせパターンを表 1 に示す。丸で表記した部分が、実験を行う組み合わせである。使用する実物体は実験 1 と同一である。各実物体の水量と同一の仮想物体を重畳描画し、この実験パターンを実験 1 と同様に、実物体内部からの水の音を聞かせる条件と遮断した条件で場合分けをして行う。実験 2 では、水量の回答方法として、仮想物体の横に描画した赤いゲージを上下させて内部の水量を推定させる。ゲージによる回答方法を用いた理由は、仮想物体を重畳描画した実物体に直接指示させた場合、指に仮想物体が被る場合があり、回答の際に違和感を与え、結果に影響してしまうことを防ぐためである。なお、ゲージの上下による方法と直接指示させる方法で、回答した推定位置の差異が無いことを事前に確認している。被験者は実験 1 と同様である。試行数は、 3×2 (実物体の水量 \times 水の音の有無) = 6 回である。

5.3 実験手順

具体的な実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者に HMD を装着させる
- (2) 内部の水量と同一の仮想物体をランダムに選択する
- (3) 被験者に実物体を持たせる
- (4) 被験者に実物体を振らせる
- (5) 推定した内部の水量を、ゲージを上下させ回答させる
- (6) 被験者が内部の水量を推定できたと感じるまで (4)~(5) を繰り返して行わせる

表 1 実験 2 の組み合わせパターン

		仮想物体の水量 [%]		
		25	50	75
実物体の水量 [%]	25	○	/	/
	50	/	○	/
	75	/	/	○

- (7) 筋疲労の影響を排除するためインターバルを設ける
- (8) 同一の水量の実物体で、時間をおいてからヘッドホンを装着させて (3)~(7) を行う

各水量の条件間において、1 日以上以上の期間を空けたうえで (1)~(8) を繰り返して行う。

5.4 実験結果

実験結果を図 7、図 8 に示す。図 7 (a)、図 8 (a) は実物体内部からの水の音を遮断した場合、図 7 (b)、図 8 (b) は水の音を聞かせた場合の結果である。図 7 は水量の平均値を表しており、図 8 は、被験者が推定した水量と実物体内部の水量との誤差を表している。図 6 と図 8 の、同一容量の条件で t 検定を行った結果、図 8 (a) では、水量 25% と 75% の条件において有意差を確認し ($p < .05$)、図 8 (b) では、水量 25% の条件において有意傾向を示した ($p < .10$)。

図 5 に比べて図 7 では、いずれの水量の条件においても、◆が□や■に近づいていることがわかる。さらに、図 6 と図 8 を見比べると、25% と 75% の条件においては、仮想物体を提示しない場合に比べて提示した場合に推定誤差が小さくなっていることがわかる。つまり、実物体内部の水量と同一の仮想物体を提示することによって、実物体を振る場合の内容量推定の誤差を小さくすることが可能であることを示唆している。この傾向は水の音を遮断した場合と聞かせた場合のどちらでも確認できる。

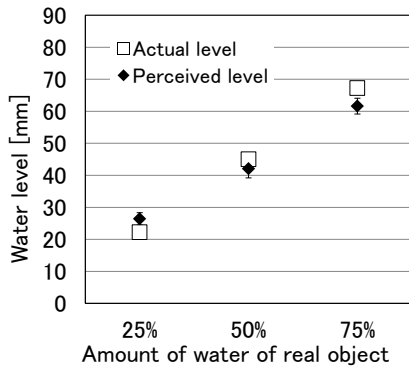
さらに、仮想物体の提示による内容量推定の誤差が小さくなる傾向は、実験 1 での誤差が小さいほど弱いことがわかる。また、実験 1 で最も推定誤差の小さい水量 50% の条件においては、仮想物体を提示しても推定誤差が小さくならないことも確認できる。このことから、内部の水量と同一の仮想物体の提示による推定誤差への影響は、実物体内部の水量に関わらず推定誤差 6mm 前後で無くなり、誤差が変化しなくなることが考えられる。

また、実験 1 では水量 50% の条件において最も推定誤差が小さいのに対し、本実験では水量 25%、50%、75% の順に推定誤差が小さくなっていることがわかる。これは、提示した仮想物体の水量と、推定した水量との誤差が小さくなっているとも言える。つまり、実物体内部の水量に関わらず、推定した水量が仮想物体の水量に引きずられている可能性があることも考えられる。

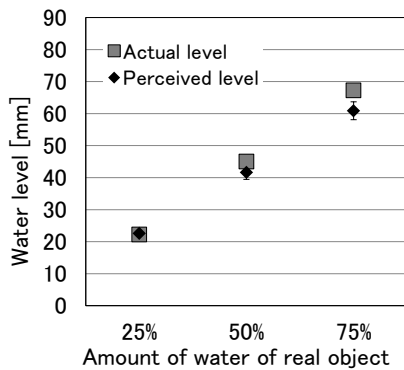
6. 実験 3：実際の水量と異なる仮想物体の提示が容量推定における誤差に与える影響の確認

6.1 実験目的

実験 2 では、実物体内部の水量と同一の仮想物体を提示することで、内容量推定の誤差が減少した。この結果から、内容量知覚は視覚刺激に引きずられる傾向が確認できた。ここで、実物体内部の水量と異なる仮想物体を提示した場合、仮想物体の水量に引きずられ、推定した水量の誤差が大きくなるということが仮説として考えられる。そこで実

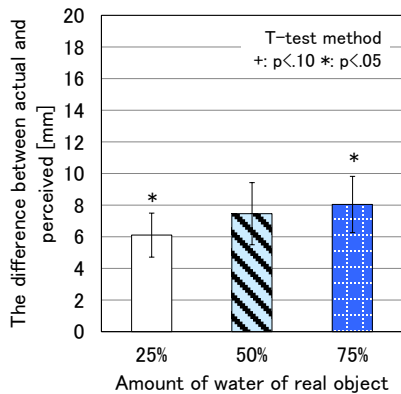


(a) 水の音なし

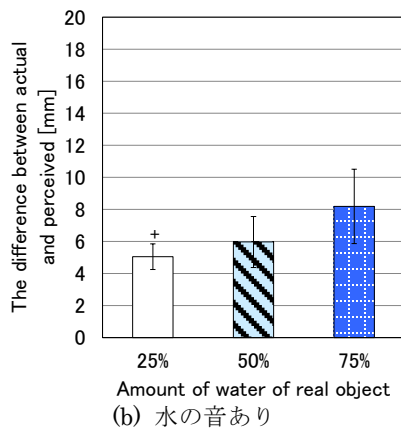


(b) 水の音あり

図7 水面位置の平均と実際の水面位置



(a) 水の音なし



(b) 水の音あり

図8 推定した水量と実際の水量との誤差の平均

験3では、実物体内部と異なるの水量仮想物体を提示した場合の内容量知覚に与える影響を確認する。

6.2 実験条件・実験手順

実験3における実物体と仮想物体の組み合わせパターンを表2に示す。その他の条件は実験2と同様である。被験者は実験1,2と同じ11名で、試行数は $2 \times 2 \times 3$ (実物体と異なる水量の仮想物体 \times 水の音の有無 \times 実物体内部の各水量) = 12試行である。実験手順は実験2と同様である。

6.3 実験結果

実験結果を図9, 図10に示す。図9にプロットされた○は被験者の回答位置の平均値, ◆が実物体内部の水面位置, □が仮想物体の水面位置を表しており, 回答位置の平均値が実物体内部の水面位置に近づくほど内容量推定の精度が高いことを表し, 仮想物体の水面位置に近づくほど水量の推定が仮想物体の水量に引きずられていることを表す。図10の推定誤差の検定については図中に記載した。

同一の水量の仮想物体を重畳描画した図7では実物体の水面位置に回答位置の平均値が近づいていたのに対して, 図9の全体的な傾向として, 回答位置の平均値が実物体の水面位置から離れていることがわかる。また, 内部の水量と同一の仮想物体を重畳描画した図8の結果と比べ, 図10では全体的に水量の推定誤差が大きくなる。これは実物体の水量に関わらず, 内容量知覚が仮想物体の水量に引きずられることを示唆している。さらに, 図10の水量25%と75%の条件では, 実物体の水量と仮想物体との差が大きくなるほど内容量知覚が引きずられる傾向が強くなる。この傾向は, 実物体と仮想物体の水量の差に依存することが考えられる。

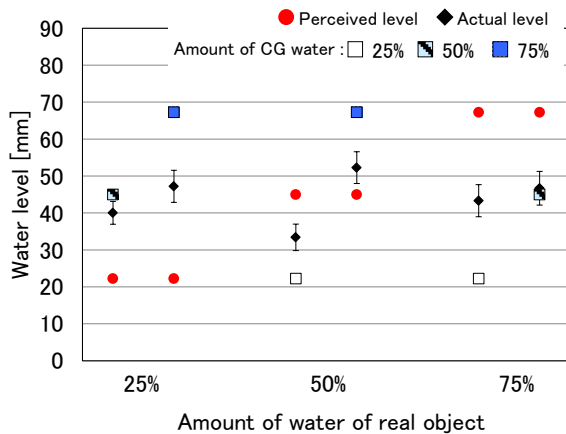
さらに, 水の音を聞かせている条件では, 水量の条件によっては例外があるものの, 全体的に仮想物体の水量に引きずられにくくなる傾向となった。これも実験1で確認したように, 被験者が水の音を水量推定の判断材料としていることで, 推定誤差が小さくなる。ことが考えられる。

7. 考察

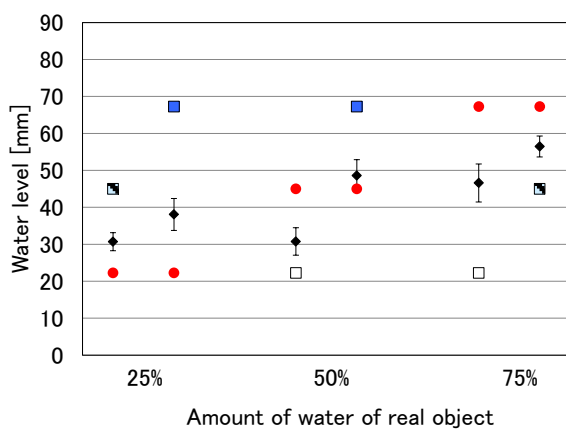
これまでの実験結果を分析・考察した結果, 以下の知見が得られた。

表2 実験3の組み合わせパターン

		仮想物体の水量 [%]		
		25	50	75
実物体の水量 [%]	25		○	○
	50	○		○
	75	○	○	

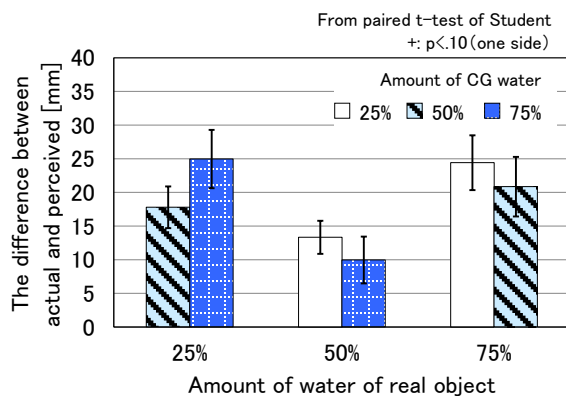


(a) 水の音なし

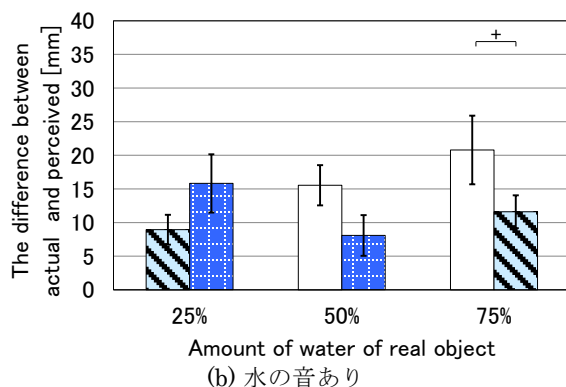


(b) 水の音あり

図9 水面位置の平均と実際の水面位置



(a) 水の音なし



(b) 水の音あり

図10 推定した水量と実際の水量との誤差の平均

- (a) 振り動作によって実物体内部の水量をある程度知覚でき、水量によって知覚の精度が変化する
- (b) 実物体内部の水量と同一の仮想物体を重畳描画すると水量の推定誤差が小さくなる傾向がある
- (c) 実物体内部の水量と異なる仮想物体を重畳描画すると内容量知覚が仮想物体の水面に引きずられる傾向がある
- (d) 内容量知覚が仮想物体の水面位置に引きずられる傾向は、実物体と仮想物体との水量差に依存する
- (e) 実物体からの水の音は内容量推定における判断材料となっている可能性が高い

(a) の知見は、ダイナミックタッチの知見と同様に、振り動作による能動的触力覚から、物体内部の推定が可能性であることを示唆している [9]。また、実験結果から、実物体内部が固定だけではなく、液体であっても、視覚情報なしで、ある程度精度よく推定できることがわかる。また、(b) より、視覚刺激を付与することによって、その精度をさらに向上させることができた。このことより、仮想の水量と実際の水量が同一の場合でも、視覚刺激が内容量推定に影響を与えていることがわかる。

(c)(d) は、実物体の水量と仮想物体との水量差が大きいくほど、仮想物体の水面位置に引きずられる傾向が強くなるということである。このことから、R-V Dynamics Illusionにおいて、仮想物体の水量が内容量推定に影響を与えることが考えられる。つまり、仮想物体の水量が大きくなると実物体の内容量を大きく見積もるため、物体を重く感じているということがわかる。

さらに、複数感覚の不調和では視覚優位になり統合されるといった知見は、内容量知覚にもその傾向があることが考えられたが [16]、(e) の知見によって、聴覚情報が優位となる可能性も考えられるため、新しい疑問点となった。

8. むすび

本稿では、R-V Dynamics Illusion が内容量推定に与える影響を分析するため、仮想物体を重畳描画することで実物体内部の水量推定における誤差に与える影響を定量的な実験結果から確認した。まず、水の入った実物体の内部が見えない状態である程度水量を推定する事が可能であることを確認した。そして、実物体内部と同一の水量である仮想物体を重畳描画すると水量推定の誤差が小さくなり、異なる水量の仮想物体を重畳描画すると、内容量の推定値が仮想物体の水量に引きずられる傾向を確認した。また、その傾向は実物体と仮想物体との水量の差が大きいくほど強くなることを確認した。これらの知見から、内容量知覚に仮想物体の水量が影響すること、これまでの触知覚研究の知見が内容量知覚にも応用可能であることが示唆された。

参考文献

- [1] 家崎明子, 杣田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: “複合現実型視覚刺激による触印象への影響”, 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, 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”, 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] 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.
- [5] Y. Kataoka, S. Hashiguchi, F. Shibata, and A. Kimura: “R-V Dynamics Illusion: Psychophysical phenomenon caused by the difference between dynamics of real object and virtual object,” Proc. The 25th Int. Conf. on Artificial Reality and Telexistence and the 20th Eurographics Symp on Virtual Environments, pp. 133 - 140, 2015.
- [6] H. Y. Solomon & M. T. Turvey: “Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects,” *Experimental Psychology; Human Perception and Performance*, Vol. 14, No. 3, pp. 404 - 427, 1988.
- [7] J. C. Stevens & L. L. Rubin: “Psychophysical scales of apparent heaviness and the size-weight illusion,” *Perception & Psychophysics*, Vol. 8, Issue 4, pp. 225 - 230, 1970.
- [8] G. Burton, M. T. Turvey, and H. Y. Solomon: “Can shape be perceived by dynamic touch?,” *Perception & Psychophysics*, Vol. 48, Issue 5, pp. 477 - 487, 1990.
- [9] J. J. Gibson: “The senses considered as perceptual systems,” *Houghton Mifflin*, 1966.
- [10] E. H. Weber: “The Sense of Touch,” *Academic Press*, 1978.
- [11] M. A. Plaisier & J. B. J. Smeets: “How many objects are inside this box?,” Conf. World Haptics, 2017.
- [12] G. T. Fechner: “Elemente der psychophysik,” *Leipzig: Breitkopf und Härtel*, 1860.
- [13] 「クロスモーダル／マルチモーダル特集」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 18, No. 2, 2013.
- [14] A. Lecuyer, J.-M. Burkhardt, S. Coquillart, and P. Coiffet: ““Boundary of illusion”: an experiment of sensory integration with a pseudo-haptic system,” Proc. Virtual Reality 2001, pp. 115 - 122, 2001.
- [15] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard, and P. Coiffet: “Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?,” Proc. Virtual Reality 2000, pp. 83 - 90, 2000.
- [16] I. Rock and C. S. Harris: “Vision and touch,” *Scientific American*, Vol. 216, pp. 96 - 104, 1967.
- [17] P. Parinya, I. Daisuke, and S. Kosuke: “SoftAR: Visually manipulating haptic softness perception in spatial augmented reality,” *Trans. on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 21, No. 11, pp. 1279 - 1288, 2015.