

平成 30 年度

修士学位論文

自己身体の視覚フィードバックが 3 次元空間知  
覚に及ぼす影響

Effects of visual feedback of self-body on the  
three-dimensional spatial perception

1205087 山根 祥

指導教員 繁榊 博昭

2018 年 2 月 2 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報システム工学コース

## 要 旨

### 自己身体の視覚フィードバックが3次元空間知覚に及ぼす影響

山根 祥

バーチャルリアリティ (Virtual Reality, 以下 VR と略記) 空間上で実際の自己身体とは差異のあるバーチャルな手の視覚フィードバックを操作することで、得られる視覚フィードバック情報が自己の身体位置の知覚や3次元空間知覚に影響を及ぼすことが報告されている。この自己の身体位置は、視覚のみでなく筋や関節の緊張・伸縮などの自己受容感覚 (proprioception) から知覚できる。また、操作する視覚フィードバックが実際に動かしている手の位置と異なると目標物までの距離の知覚に影響を与え、その結果として対象の奥行き知覚が変化することが報告されている。しかし、先行研究ではバーチャルな手の視覚フィードバック情報として光点のみを用いて検討していたため、この視覚情報が自己身体と類似することで空間知覚の変容にどのような影響を及ぼすかについては明らかではない。そこで、実験1では提示する視覚フィードバック情報について実際の手との類似性を操作してその効果を検討した。また、実験2では到達運動によって得られる視覚フィードバック情報の差異が自己受容感覚による身体位置の知覚特性に影響を及ぼすか検討されていないためこの点について検討した。実験の結果、実験1では自身の手の視覚フィードバックの形状が球のような抽象的な情報であった場合、奥行きの判断において個人差が生じやすいことが示された。また、実験2では球のモデルで個人差が大きかったのは自己身体の主観的位置の違いではなく、奥行きが知覚しにくい球のモデルでは位置の条件の差を知覚しにくいため、奥行きの感度の違いが個人差を生じたことが示唆された。

キーワード 視覚フィードバック, 到達運動, 3次元空間知覚

# Abstract

## Effects of visual feedback of self-body on the three-dimensional spatial perception

Sho YAMANE

By manipulating the visual feedback of the virtual hand which is different from the actual self-body on the virtual reality (VR) space, it has been reported that it affected perception of self-body and three - dimensional spatial perception. This body position of the self can be perceived not only from the sense of vision but also from a proprioception such as tension and stretching of the muscle and joints. In addition, it is reported that the perception of the distance to the target changed when the visual feedback is different from the position of the hand actually and as a result the depth perception of the object also changes. However, in the previous study, as only the point light is used as the visual feedback information of the virtual hand and it is not similar to the self-body what kind of influence this visual information has on the modulation of the spatial perception is unclear. Therefore, in Experiment 1, we examined the effect of the visual feedback of self body by manipulating the similarity of the actual hand. In Experiment 2, whether the difference of visual feedback information obtained by the reaching movement affects the perception of self-hand position by proprioception. As a result, in experiment 1, if visual feedback of own hand was abstract information as the sphere, individual difference tends to occur in the judgment of depth. In Experiment 2, the results of suggested that as it was difficult to perceive the difference of depth position in the sphere condition, rather than the difference in the subjective position of

the self-body, the results suggested that the individual difference was large.

***key words*** Visual feedback, reaching, three-dimensional spatial perception



# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	本研究の背景 . . . . .	1
1.2	順応 . . . . .	3
1.3	VR(Virtual Reality) . . . . .	3
1.4	体性感覚 . . . . .	4
1.4.1	自己受容感覚, 自己所有感覚と自己主体感覚 . . . . .	4
1.5	奥行き手がかり . . . . .	5
1.6	奥行きスケーリング . . . . .	5
1.7	視距離と奥行き知覚 . . . . .	6
1.8	本研究の目的 . . . . .	8
<b>第 2 章</b>	<b>実験 1</b>	<b>9</b>
2.1	実験 1 の実験装置 . . . . .	9
2.1.1	使用ソフトウェア . . . . .	9
2.1.2	刺激提示デバイス . . . . .	9
2.1.3	3次元入力デバイス . . . . .	10
2.1.4	実験用の机 . . . . .	10
2.2	実験 1 の刺激 . . . . .	11
2.2.1	操作する視覚フィードバック情報 . . . . .	11
2.2.2	到達運動課題, 奥行き判断課題における目標物 . . . . .	12
2.3	実験 1 の実験方法 . . . . .	13
2.3.1	実験環境 . . . . .	13
2.3.2	被験者 . . . . .	13
2.3.3	実験 1 の手続き . . . . .	14

## 目次

2.4	実験1の結果	17
2.4.1	データの解析手順	17
2.4.2	奥行き距離判断課題における個人間の平均値	17
2.4.3	分散分析結果	18
2.5	実験1の考察	18
<b>第3章</b>	<b>実験2</b>	<b>21</b>
3.1	予備実験の手法	21
3.2	予備実験の結果と改善点	22
3.3	実験2の刺激	23
3.3.1	自己身体位置の評価課題で使用する刺激	23
3.4	実験2の実験方法	23
3.4.1	実験2の手続き	23
3.4.2	被験者	24
3.5	実験2の結果	25
3.5.1	データの解析手順	25
3.5.2	実験2の結果(各条件ごとの平均値)	25
3.5.3	分散分析の結果	30
3.6	実験2の考察	31
<b>第4章</b>	<b>全体の考察</b>	<b>32</b>
4.1	奥行き距離判断課題における評価について	32
4.2	実験間の考察	33
4.3	今後の展望	34
<b>第5章</b>	<b>まとめ</b>	<b>35</b>
	謝辞	37

目次

参考文献

38

# 目次

1.1	3次元入力デバイスを用いたVRの一例 (Hover VR interface Kit[1], Image Hands: 500 Blocks[2]) . . . . .	2
1.2	VR 一例 (TOY BOX [6], MineCoaster[7]) . . . . .	3
1.3	両眼視差 [13] . . . . .	6
1.4	両眼距離・視距離・奥行き差と両眼視差の関係 [17] . . . . .	7
1.5	視距離と対象の奥行き距離の関係 [18] . . . . .	7
2.1	HMD(Oculus Rift CV1) . . . . .	10
2.2	3次元入力デバイス (Oculus Touch) . . . . .	10
2.3	実験用の机 . . . . .	11
2.4	バーチャルな机 . . . . .	11
2.5	操作する視覚フィードバック (左: virtual hand(手) 条件, 右: sphere(球) 条件) . . . . .	12
2.6	操作する視覚フィードバックの模式図 . . . . .	12
2.7	到達運動課題における目標物 . . . . .	13
2.8	奥行き距離判断課題における目標物 . . . . .	13
2.9	実験1の実験手順 . . . . .	14
2.10	左手用 Oculus Touch の持ち方 . . . . .	15
2.11	Oculus Touch の持ち方確認 (左: 現実空間, 右: VR 空間) . . . . .	15
2.12	各課題の実験環境 . . . . .	15
2.13	奥行き距離判断課題 (上から見た視点) . . . . .	16
2.14	実験1の結果 (個人間の平均値) . . . . .	17
2.15	奥行き距離判断課題における調整値の分散 . . . . .	18

## 図目次

3.1	実験 2 の予備実験の流れ . . . . .	21
3.2	実験 2 の予備実験におけるポインティング課題 . . . . .	22
3.3	ポインティング課題 (被験者には手は見えていない) . . . . .	23
3.4	実験 2 の流れ . . . . .	24
3.5	主観的位置の変化量の値 . . . . .	25
3.6	virtual hand 条件 (個人間の平均値) . . . . .	26
3.7	sphere 条件 (個人間の平均値) . . . . .	26
3.8	Extend 条件 (個人間の平均値) . . . . .	27
3.9	Normal 条件 (個人間の平均値) . . . . .	27
3.10	Normal 条件におけるドリフト量の分散 . . . . .	30
3.11	実験 2 考察の模式図 . . . . .	31
4.1	奥行き距離判断課題における評価 (模式図) . . . . .	33

# 表目次

2.1	virtual hand 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Normal 条件) . . .	19
2.2	virtual hand 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Extend 条件) . . .	19
2.3	sphere 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Normal 条件) . . . . .	20
2.4	sphere 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Extend 条件) . . . . .	20
3.1	実験 2 の予備実験結果 . . . . .	22
3.2	virtual hand 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Extend 条件) .	28
3.3	virtual hand 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Normal 条件) .	28
3.4	sphere 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Extend 条件) . . . . .	29
3.5	sphere 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Normal 条件) . . . . .	29

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 本研究の背景

近年 VR 空間を提示するために利用されるヘッドマウントディスプレイ (Head Mounted Display, 以下 HMD と略記) を用いた臨場感のある体験が比較的安価に手に入り経験できることより, 我々の身近なデバイスとなってきた。それに加え, 3 次元入力デバイスの開発により自己の身体を VR 空間上で操作することで, より没入感が高くなりそれを自己の身体として容易に知覚できるようになっている。また, VR 空間上に提示される視覚フィードバックを利用して物を掴んだり, 触ったりするなどの作業をすることで実際に日常で行っている動作を VR 空間上で再現し, なおかつ壮大なスケールで操作することが増えてくると予想される。図 1.1 に 3 次元入力デバイスを用いた VR デモを紹介する。このとき, VR 空間上のバーチャルな視覚フィードバック情報が実際の自己身体と視覚的な位置情報において一致していることが理想的であるが, その部分が異なり違和を感じる場合も考えられる。したがって, この提示する視覚フィードバックと自己の身体位置の差異が空間知覚の変容および身体位置の知覚にどのような影響を及ぼすかについて検討することは重要であると考えられる。

こうした VR 技術では図 1.1 のように自己身体の視覚フィードバックの情報を提示することが有効であるが, 視覚フィードバック情報によって自己の身体位置や姿勢を筋や関節などの身体の深部組織によって知覚する「自己受容感覚」が変化することが報告されている [3]。これに加え, VR 空間上で操作する視覚フィードバックが実際の自分の身体と異なる位置で提示され, それを動かすことによって目標物までの距離の知覚に影響を与え, それにより対

## 1.1 本研究の背景

象までの奥行き知覚が変化することが報告されている [4]. この先行研究では, 暗室内で被験者自身の指先 150 mm 先に提示された光点を操作し, 奥行き方向に対する目標物までの到達運動課題を繰り返すことで物体間の奥行き距離知覚が変容し, 奥行きを過大評価することが示された. これは, 自己の手が伸びたという視覚情報に順応することで空間知覚の基準となる距離の知覚が変容したためと報告されている. しかしながら, この先行研究では操作する手の視覚フィードバック情報として光点のみを用いた実験であり, 提示する視覚フィードバックの提示位置や形状などの視覚的情報を操作することや被験者自身の能動的運動に同期した視覚フィードバック情報を提示することは容易ではないことが分かる.

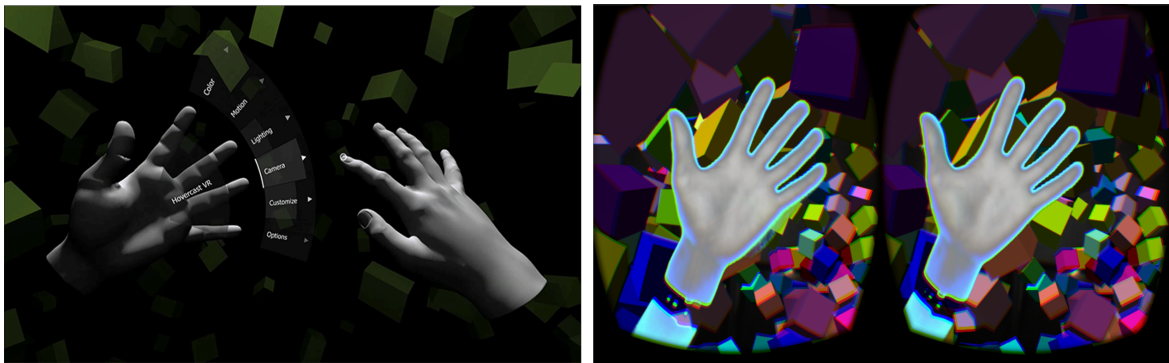


図 1.1 3次元入力デバイスを用いた VR の一例 (Hover VR interface Kit[1], Image Hands: 500 Blocks[2])



## 1.2 順応

### 1.2 順応

順応は、視覚や聴覚、嗅覚、味覚、触覚といった知覚システムすべてにおいて見られ、ある部位に一定時間以上の持続的な刺激を与え続けることによって、刺激強度に変化がなくてもその刺激やそれに類似した刺激に対して感度が低下する現象のことである。

### 1.3 VR(Virtual Reality)

VR(Virtual Reality)とは仮想現実と呼ばれコンピュータグラフィックスや音響効果を組み合わせて、人工的に現実感を作り出す技術のことである。人工的に作り出された仮想世界にあたかも自分が入り込んでいるかのような感覚を得ることができる技術であり、近年の技術革新によりスマートフォンなど我々の身近なデバイスでも気軽に体験できるようになっている。理想的なVRシステムを構築するには次の要点を重視することが考えられている。1つ目に、コンピュータの生成する仮想世界が人間にとって自然な3次元空間を構成しているかどうかという「3次元の空間性」、2つ目に、我々はその仮想世界で環境との実時間の相互作用をしながら自由に行動できるかどうかという「実時間の相互作用性」、3つ目に、その仮想世界と使用している人間とがシームレスになっていて環境に入り込んだ状態が作られているかどうかという「自己投射性」の以上3つが挙げられる [5]。VR技術は幅広い分野において利用されており、より臨場感の高い体験ができるデバイスとしてヘッドマウントディスプレイが近年注目されている。図 1.2 に HMD を用いた VR の例を紹介する。

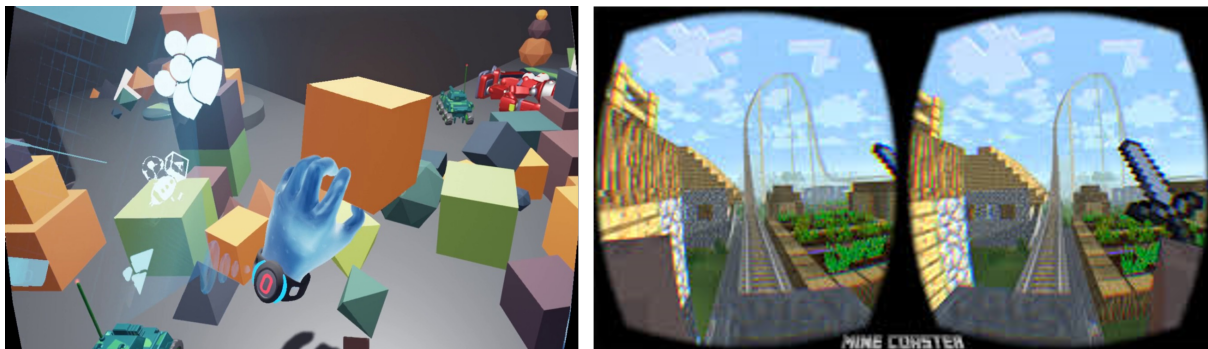


図 1.2 VR 一例 (TOY BOX [6], MineCoaster[7])

## 1.4 体性感覚

### 1.4 体性感覚

我々人間が知覚している感覚の一つに体性感覚がある。これは内臓と脳以外の身体組織にある感覚器官によって生じる感覚である。この感覚に関与する受容器に皮膚表在受容器と深部受容器の2つが挙げられる。これをもとに体性感覚を皮膚(表在)感覚と深部感覚に分ける。皮膚感覚は、刺激を単純化してみると、触圧覚、温覚、冷覚、痛覚の要素的感覚からなる。それぞれの感覚について、周囲より感覚感受性に特に高い部位がある。一方、深部感覚は、筋や関節など深部組織に起こる感覚である。深部感覚とほぼ同義の言葉に自己受容感覚がある。自己受容感覚とは自分の起こす身体の動きによって刺激される受容器による感覚である。つまり、視覚フィードバック情報に頼らず、筋や腱、関節の緊張・伸縮などのフィードバック情報をもとに自己の身体位置や体勢を知覚する感覚である [8]。

#### 1.4.1 自己受容感覚、自己所有感覚と自己主体感覚

自己受容感覚 (proprioception) とは、1.4 でも述べたように視覚フィードバック情報に頼らず、筋や腱、関節の緊張・伸縮などのフィードバック情報をもとに自己の身体位置や体勢を知覚する感覚である。例えば、目を閉じた状態でも自己の身体位置や体勢、運動の状態などがある程度知覚することができるのは自己受容感覚によるものである。自己受容感覚に加え触覚、視覚的フィードバックなど身体に関する感覚情報を統合して処理することにより、統一された自己の身体を認識していると考えられる [9]。こうして統合された自己の身体に関する認識として、身体に対する自己所有感覚 (sense of self-ownership) や自己主体感覚 (sense of self-agency) がある。自己所有感覚とは自己の身体を自分のものだと知覚する感覚であり、自己主体感覚は観察される運動が自分によって引き起こされていると知覚する感覚である。

## 1.5 奥行き手がかり

### 1.5 奥行き手がかり

奥行きとは、ここでは観察者から異なる距離にある2つの前額平行面間のことをいう。このような空間感覚の印象を伴うすべての視覚経験のことを奥行き視と呼ぶ。奥行きの印象には、知覚された奥行きの大きさ、奥行きの方向、質的な立体感などの属性があり、それらの違いは視覚系が利用できる情報の種類とその特性によって生み出される。これらの情報は、一般に奥行き手がかりと呼ばれる [10]。両眼視差も手がかりの一つである。我々は右眼だけで対象を見たときと、左眼だけで対象を見たときでは、見える像は少し異なっている。この左右の目による見えの違いのことを両眼視差という (図 1.3)。これは、左右の目の位置が水平方向に約 6cm ほど離れて位置しているために生じるものである。しかし、示唆が大きくなると融像せず二重像のように見え、前後差の弁別が難しくなる [11]。この両眼視差は空間知覚の強力な手がかりとなっている [12]。

### 1.6 奥行きスケーリング

ある奥行き手がかりに基づいて知覚される奥行き量を視距離情報を用いて換算することを奥行きスケーリングという。視距離とは対象までの観察距離のことをいう。奥行きのスケーリングは、対象までの視距離および両眼間距離の情報を利用することで可能となる。このことから、観察者から2つの対象のうちどちらかの対象までの視距離および両眼距離がわかれば奥行き量を特定できる網膜像差の逆自乗法則が導出される [14][15]。

$$a_1 \cong \frac{I}{D(D+d)}$$

$$a_2 \cong \frac{I}{D}$$

$$\delta = a_2 - a_1 = \frac{I}{D} - \frac{I}{D(D+d)} = \frac{Id}{D(D+d)} \cong \frac{Id}{D^2}$$

( $\delta$ : 両眼視差 (ラジアン単位),  $I$ : 両眼間距離,  $d$ : 奥行き,  $D$ : 視距離)

## 1.7 視距離と奥行き知覚

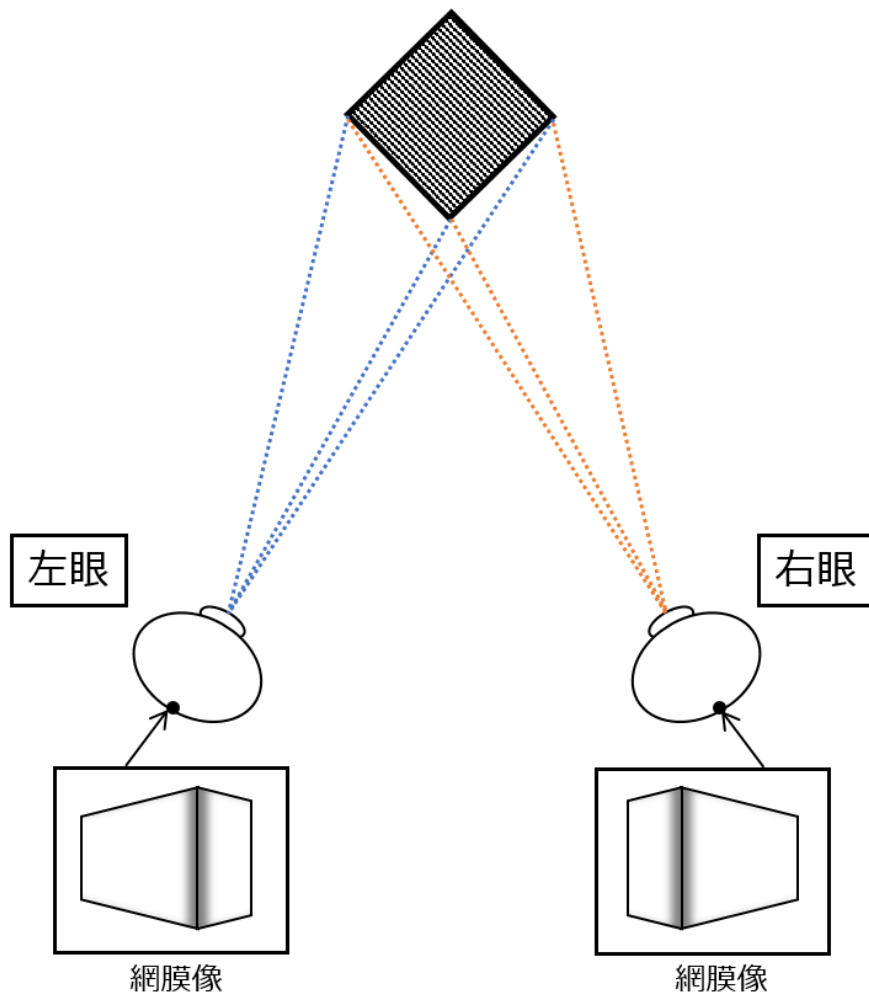


図 1.3 両眼視差 [13]

## 1.7 視距離と奥行き知覚

人間や動物が生活する中で自己の身体から対象までの距離の正確な情報を取得することは非常に重要である。距離知覚の確度はどの距離手がかりを利用するかに依存している。距離手がかりには、眼球運動性手がかり、熟知している大きさの手がかり、垂直網膜像差手がかり、絶対運動視差手がかりがある。距離手がかりが豊富な日常的な環境では距離知覚の確度は高く、距離手がかりが少ない環境では距離知覚の確度は低い [16].

1.7 視距離と奥行き知覚

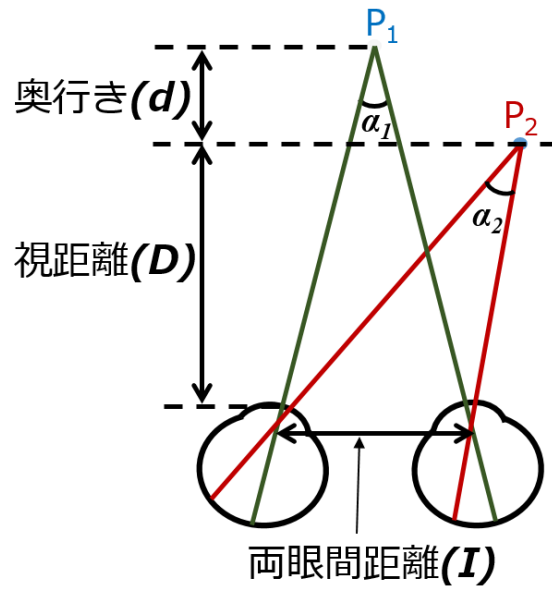


図 1.4 両眼距離・視距離・奥行き差と両眼視差の関係 [17]

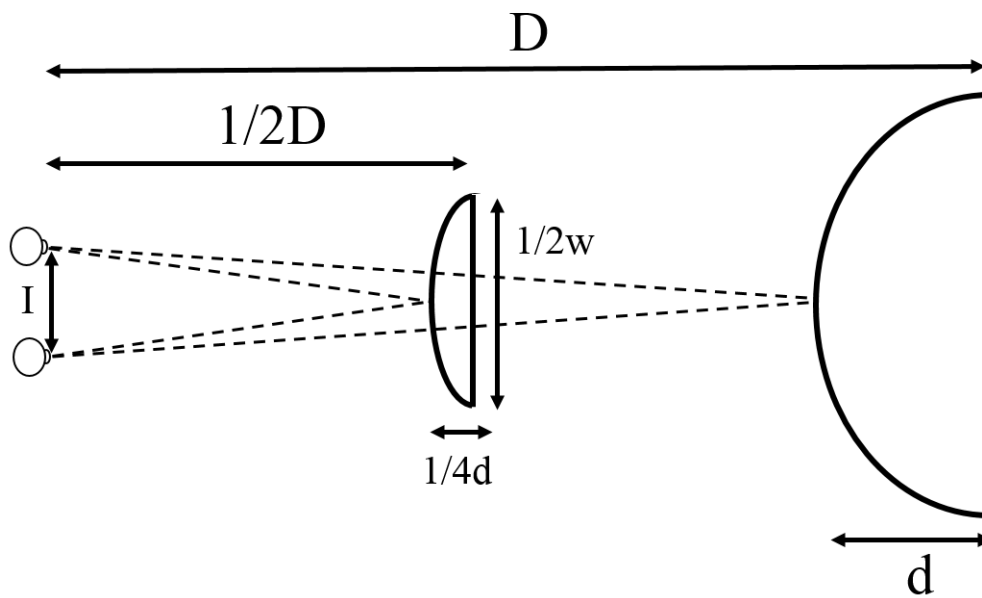


図 1.5 視距離と対象の奥行き距離の関係 [18]

## 1.8 本研究の目的

先行研究では暗室内で光点という単純な刺激のみで手の視覚フィードバック情報として操作し、距離の知覚に影響を与えることを検討していた。しかし、この視覚フィードバック情報が自己身体に類似すると空間知覚にどのような影響を及ぼすか明らかになっていない。そこで本研究では、視界を完全に覆う没入型の HMD を装着し、ディスプレイ上にバーチャルな手の視覚フィードバックを提示しそれを操作することを前提に、まず実験 1 で視覚フィードバック情報と実際の手との類似性を操作し、その効果を検討した。また、実験 2 では奥行方向に対する到達運動によって得られる視覚フィードバック情報の差異が自己受容感覚による身体位置の知覚特性に影響を及ぼすか検討した。

## 第 2 章

# 実験 1

本章では実験 1 に用いた装置，刺激，実験環境，被験者，実験の手続きに分け詳しく述べる．

### 2.1 実験 1 の実験装置

実験 1 で用いた装置について詳しく述べる．

#### 2.1.1 使用ソフトウェア

視覚フィードバック情報の作成および VR 環境の構築は，Unity(Ver2017.1.1f1 Personal)を使用した [12]．実験プログラムは C# 言語を用いて実装した．実験結果として得られた測定データは，実験プログラムにより CSV ファイルに逐次格納され，データの整理には Microsoft Excel 2013 を用いて各種解析データに適切なデータを抽出した．各種分散分析には R 言語 (Ver 3.4.2) を用いた．

#### 2.1.2 刺激提示デバイス

視覚刺激および VR 環境の提示には，HMD(Oculus Rift CV1) を使用した．実際には図 2.1 のよう右に黒い布を HMD の正面に取り付け，被験者が HMD の装着後に視野下部より実世界が見えないようにした．

## 2.1 実験1の実験装置



図 2.1 HMD(Oculus Rift CV1)

### 2.1.3 3次元入力デバイス

VR 環境における自己身体のパールナルなモデルを表示するデバイスとして Oculus touch を用いた。認識する範囲はユーザーの正面に 2 台のトラッキングセンサーを置くことにより約 1.5m 四方の範囲で認識可能である。実験の条件等もこの範囲内で設定した。図 2.2 に実験で用いたデバイスを示す。



図 2.2 3次元入力デバイス (Oculus Touch)

### 2.1.4 実験用の机

本研究では図 2.3 の机を前にして被験者に座っていただき実験を行った。縦 60cm, 横 120cm, 高さ 70cm の実際の机をもとに, VR では縦 60cm, 横 30cm, 高さ 70cm のバー



## 2.2 実験1の刺激

チャルな机を設定した。バーチャルな机を図 2.4 に示す。実際の机とバーチャルな机は高さ  
と奥行き位置を同期した状態で設置した。



図 2.3 実験用の机

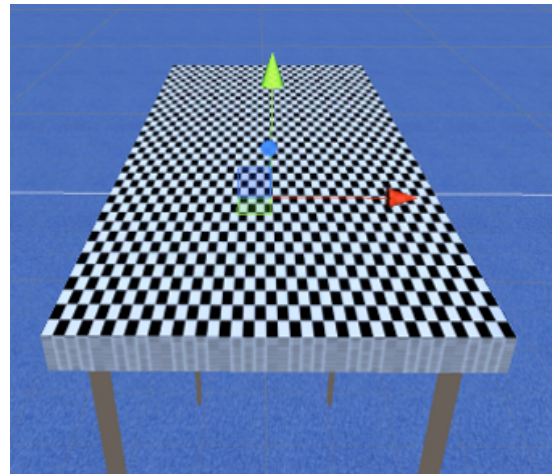


図 2.4 バーチャルな机

## 2.2 実験1の刺激

実験1で用いた刺激について詳しく述べる。

### 2.2.1 操作する視覚フィードバック情報

被験者が操作する Oculus Touch に同期して提示するモデルとして、virtual hand(手) 条件と sphere(球) を人差し指先端位置に提示した条件の2水準設定した(図 2.5)。さらに、それぞれのモデルに対して実際の手の位置に提示する (Normal) 条件と 200 mm 奥にずらした (Extend) 条件の2水準を設定した(図 2.6)。

## 2.2 実験1の刺激

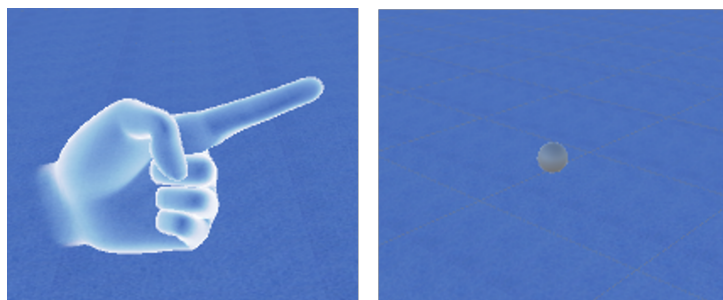


図 2.5 操作する視覚フィードバック (左 : virtual hand(手) 条件, 右 : sphere(球) 条件)

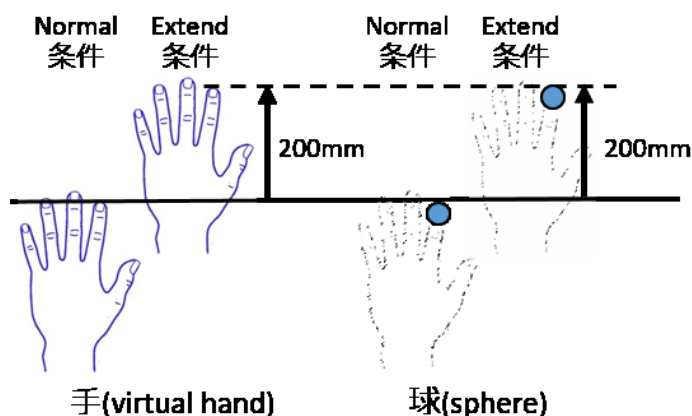


図 2.6 操作する視覚フィードバックの模式図

### 2.2.2 到達運動課題, 奥行き判断課題における目標物

到達運動課題の目標物として直径 100 mm の円形のオブジェクトを設定した (図 2.7). 指定した視覚フィードバックが目標物に接触すると黄色に変化するように設定した. また, 奥行き距離判断課題では直径 10 mm の直立した円柱を用い, 奥行きの手がかりとなる円柱の両端は視野から外れるように長く設定した (図 2.8).

## 2.3 実験1の実験方法

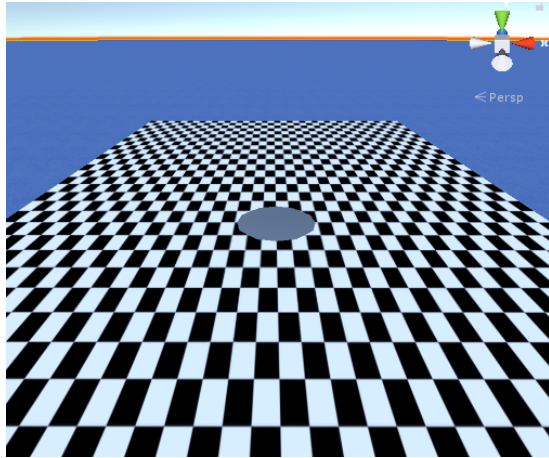


図 2.7 到達運動課題における目標物

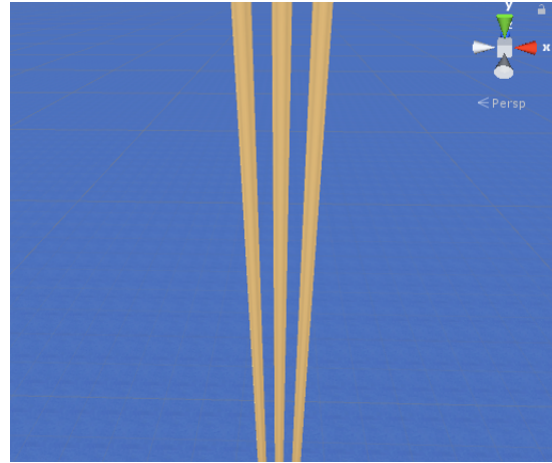


図 2.8 奥行き距離判断課題における目標物

## 2.3 実験1の実験方法

### 2.3.1 実験環境

被験者は指定された位置にある椅子に座り、HMD(Oculus Rift CV1)を装着し正面に表示される刺激を観察した。被験者は左手に3次元入力デバイスであるOculus Touchを持ち、到達運動課題では実験用の机の上にあるクッション部分(図2.3)を到達運動を行う際の動きの起点としてもらい、奥行き距離判断課題時には自由な位置に手を置き操作した。

### 2.3.2 被験者

被験者は正常な視力(矯正視力を含む)の大学生8名で行った。実験を行うにあたって、実験内容の説明書を読み、実験の目的および実験内容・手続きを理解した上で自由意思による参加である同意を署名によって得た。正常な視力については、提示する刺激を実験前に見てもらい認識できるかどうかを確認した上で参加してもらった。

## 2.3 実験1の実験方法

### 2.3.3 実験1の手続き

まず被験者間で VR 経験の差が実験結果に影響しないように被験者は HMD を装着し、Oculus Touch を用いて Cloudgine 製の Toybox を体験させた。これにより、被験者自身で自由操作することにより、リアルなバーチャル体験を経験させた。経験時間は1分間とした。これを踏まえたうえで本実験に移っていく(図 2.9)。被験者は Oculus Touch を左手人差し指を伸ばした状態で持ってもらった(図 2.10)。そして、提示されたバーチャルな机の上に操作するバーチャルな人差し指を当てることで、黄色に変化することを確認してもらった。尚、この時現実の人差し指が実験用の机に当たることをバーチャルな机が黄色になる瞬間と同期するように Oculus touch を持ち替えてもらった(図 2.11)。これは、被験者間で人差し指の長さが一定でないための処置である。次に、バーチャルな机の上に提示された目標物に対して自己身体の視覚フィードバック情報を用いて到達運動課題を 60 試行繰り返した。このとき目標物までの視距離条件は被験者の視点から 420, 495, 570 mm の 3 水準とした(図 2.12 左)。次に被験者は同一奥行き上に並んだ 3 つの円柱のうち、中央の円柱の奥行き位置を右手用の Oculus Touch で操作し、円柱間の奥行き距離(図 2.13 の B)を左右の円柱間距離(図 2.13 の A)と同じ距離( $A=B$ )になるように調整する奥行き距離判断課題を行った(図 2.12 右)。左右の円柱の距離は 40, 80 mm の 2 水準設定した。各条件下でこの課題を 5 試行ずつ繰り返し、計 30 試行とした。順序効果を避けるためモデルの提示順はカウンターバランスを取った。奥行き距離判断課題で提示される左右の円柱の位置はランダムな順とし、中央の円柱は操作する方向が偏らないように上昇系列、下降系列に分けカウンターバランスを取った。

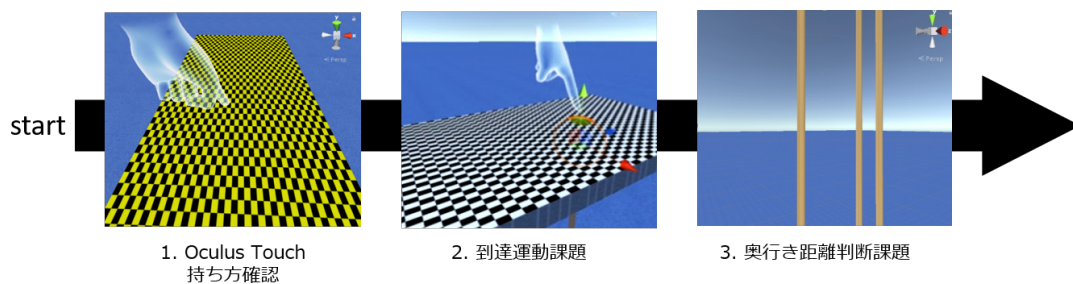


図 2.9 実験1の実験手順

## 2.3 実験1の実験方法

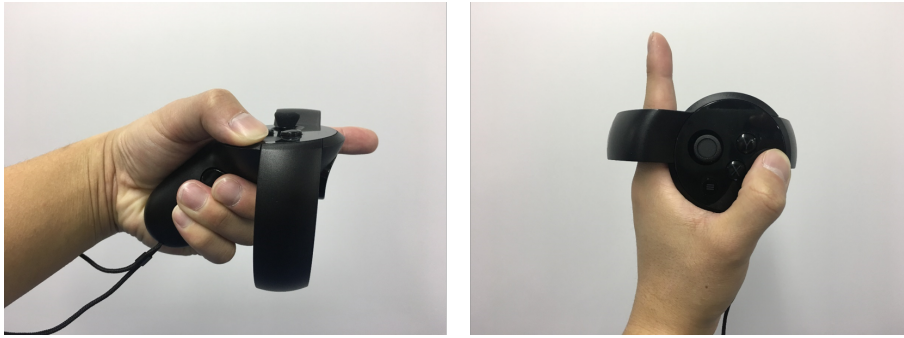


図 2.10 左手用 Oculus Touch の持ち方

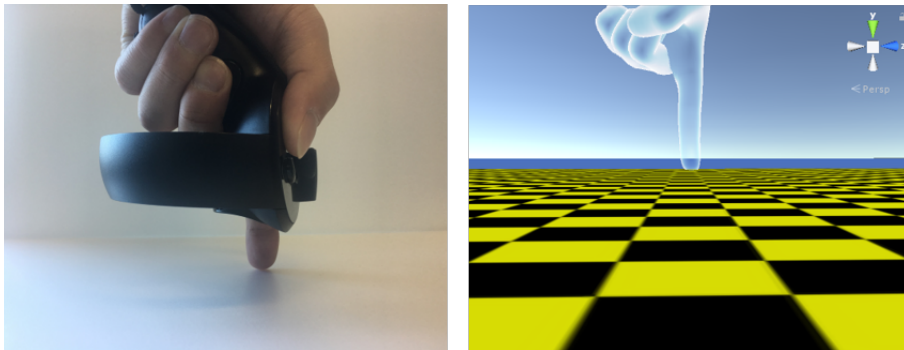


図 2.11 Oculus Touch の持ち方確認 (左: 現実空間, 右: VR 空間)

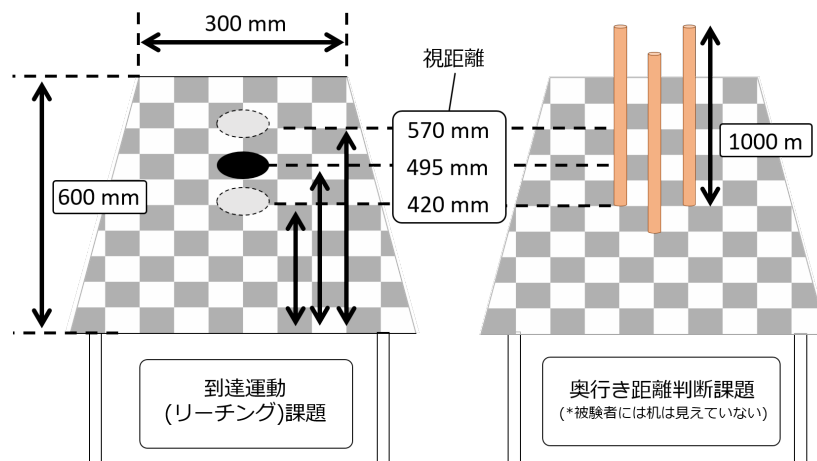


図 2.12 各課題の実験環境

## 2.3 実験1の実験方法

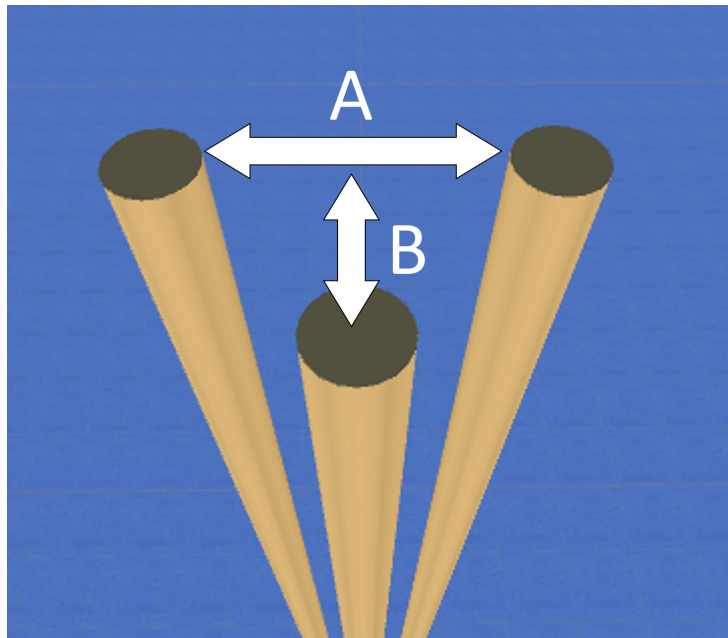


図 2.13 奥行き距離判断課題 (上から見た視点)



## 2.4 実験1の結果

### 2.4 実験1の結果

#### 2.4.1 データの解析手順

実験により得られたデータは被験者ごとに Normal, Extend 条件に分け、さらに手のモデル (virtual hand, sphere) 条件また各視距離条件と各円柱間距離条件に分けた。各条件 5 試行ずつ判定した距離に対して、それぞれ平均値をとり各条件ごとのデータを導出した。その後、手のモデル条件間または手の位置条件間における統計的分析を行い結果を出した。

#### 2.4.2 奥行き距離判断課題における個人間の平均値

得られた被験者間データの平均値を取り、手の位置条件における各モデルと各視距離条件、各円柱間距離条件でプロットしたグラフを以下の図 2.14 で示す。図 2.14 より、Normal 条件と Extend 条件それぞれ標準誤差が大きく有意な差は認められなかったが、比較的基準値に近い距離を推定できていることから正確性は保たれていることは分かる。

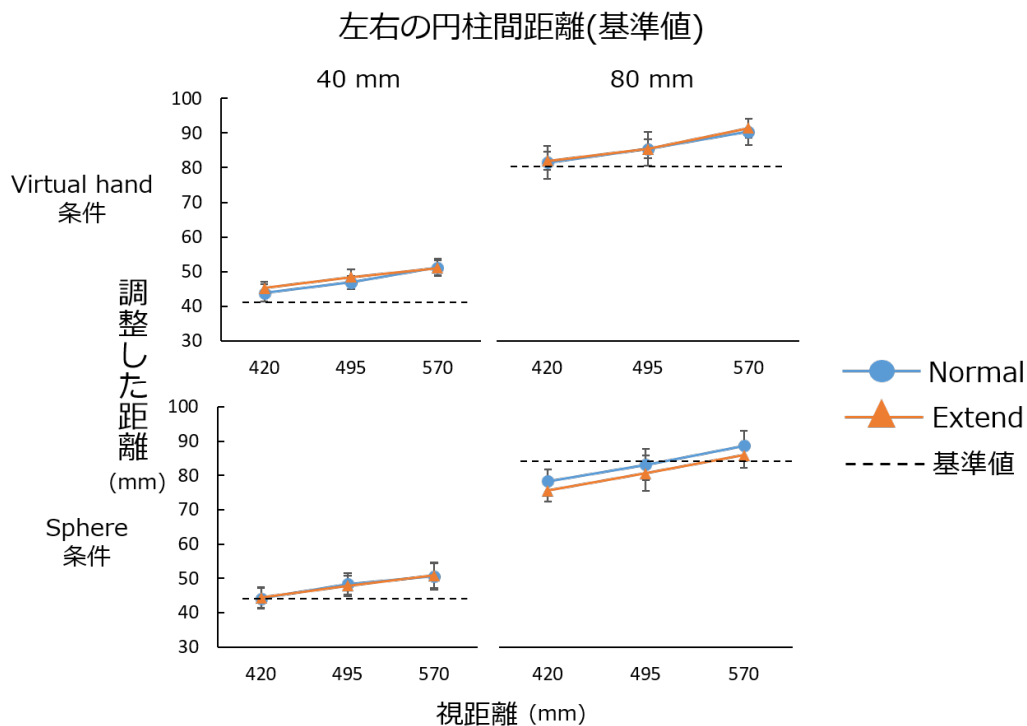


図 2.14 実験1の結果(個人間の平均値)

## 2.5 実験1の考察

### 2.4.3 分散分析結果

各視距離条件，円柱間距離条件において手の位置条件間における調整した奥行き距離の分散値について分析した(図 2.15)．手の位置条件，手のモデル条件の2要因対応ありの分散分析の結果，操作する手のモデルの主効果が見られた( $F(1,20)=5.26$ ,  $p<.05$ )．手の位置の違いの主効果は見られず，また交互作用も見られなかった．

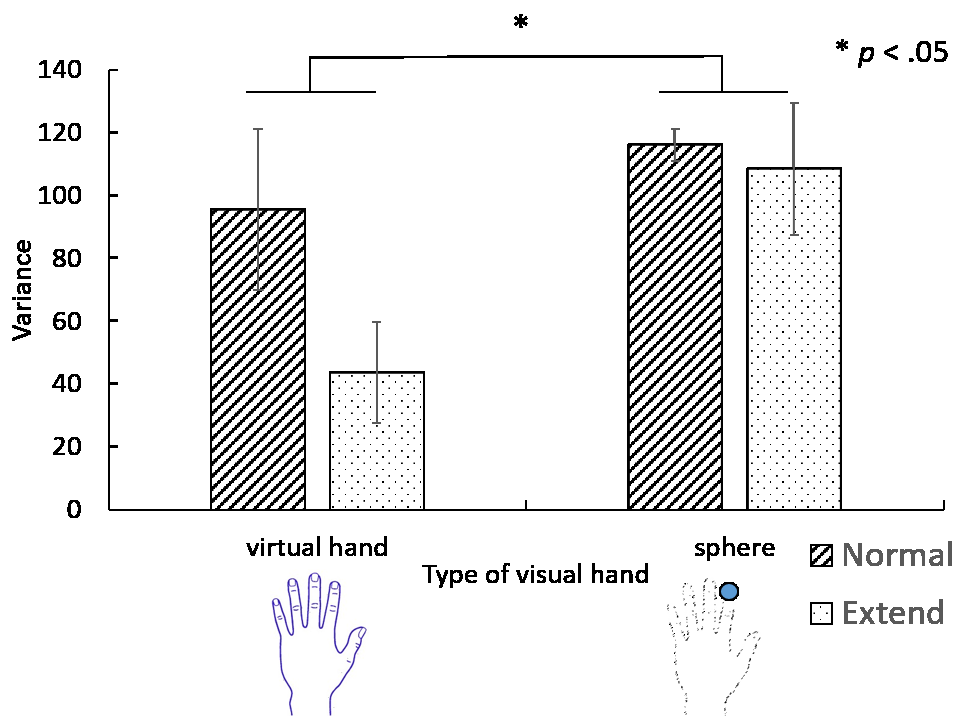


図 2.15 奥行き距離判断課題における調整値の分散

## 2.5 実験1の考察

virtual hand 条件より sphere 条件の方が分散値が大きいことから，球のような抽象的な視覚フィードバックは手と比べて身体の位置知覚の差が個人間で生じやすいという仮説が考えられる．また，球の位置の知覚が手のモデルよりも知覚しにくく，このことがより大きな個人差を生じた可能性もある．そこで実験2では，個人間の違いが自己身体の主観的位置の知覚や奥行きに対する感度の違いで説明できるのか検討した．



## 2.5 実験1の考察

表 2.1 virtual hand 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Normal 条件)

	virtual hand 条件					
	40 mm			80 mm		
調整値 (mm)	420 mm	495 mm	570 mm	420 mm	495 mm	570 mm
被験者 A	38.25	44.17	49.22	76.45	81.00	83.68
被験者 B	43.38	47.17	45.48	69.92	74.17	80.65
被験者 C	39.07	42.00	44.55	73.42	75.00	84.97
被験者 D	37.55	40.00	46.53	66.07	68.33	79.72
被験者 E	39.88	44.67	46.18	66.65	72.83	74.70
被験者 F	57.38	50.00	55.75	93.48	106.17	97.57
被験者 G	45.25	50.17	63.45	91.62	93.33	98.38
被験者 H	50.03	56.83	58.43	96.98	94.17	103.17

表 2.2 virtual hand 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Extend 条件)

	virtual hand 条件					
	40 mm			80 mm		
調整値 (mm)	420 mm	495 mm	570 mm	420 mm	495 mm	570 mm
被験者 A	40.47	42.50	47.70	70.62	75.83	76.45
被験者 B	43.85	47.83	50.38	77.97	74.17	82.52
被験者 C	43.15	47.33	46.77	84.38	84.17	95.35
被験者 D	40.93	44.50	55.98	67.23	77.50	85.20
被験者 E	51.67	55.17	48.87	86.83	85.33	97.22
被験者 F	42.45	39.67	43.62	81.70	83.50	86.60
被験者 G	54.23	57.50	62.05	85.67	97.33	93.13
被験者 H	45.37	53.33	53.42	84.03	86.83	94.42

## 2.5 実験1の考察

表 2.3 sphere 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Normal 条件)

	virtual hand 条件					
	40 mm			80 mm		
調整値 (mm)	420 mm	495 mm	570 mm	420 mm	495 mm	570 mm
被験者 A	40.70	48.83	48.05	72.95	76.50	86.72
被験者 B	40.47	44.17	49.33	71.20	74.50	75.63
被験者 C	47.70	51.67	52.13	79.13	85.17	97.80
被験者 D	38.60	46.17	49.92	68.28	72.67	80.30
被験者 E	36.50	42.50	35.80	67.47	68.83	74.23
被験者 F	36.50	34.00	38.72	79.48	82.33	81.35
被験者 G	57.85	63.50	71.97	93.37	107.50	107.02
被験者 H	55.17	56.00	59.25	90.92	93.67	101.65

表 2.4 sphere 条件における各被験者の調整した奥行距離 (Extend 条件)

	virtual hand 条件					
	40 mm			80 mm		
調整値 (mm)	420 mm	495 mm	570 mm	420 mm	495 mm	570 mm
被験者 A	45.13	49.33	52.37	75.75	85.00	89.63
被験者 B	35.92	40.50	40.12	71.78	66.17	69.68
被験者 C	44.08	48.33	50.97	75.98	73.83	89.17
被験者 D	42.45	45.50	46.88	69.45	75.50	85.78
被験者 E	40.82	44.67	47.12	68.75	71.33	78.67
被験者 F	33.23	35.50	38.95	64.32	68.00	74.70
被験者 G	58.43	61.50	68.82	82.98	94.00	96.05
被験者 H	55.17	57.50	61.93	92.67	107.83	99.43

## 第 3 章

# 実験 2

本章では実験 2 に用いた装置，刺激，実験環境，被験者，実験の手続きに分け詳しく述べる。

### 3.1 予備実験の手法

実験 2 では実験 1 で行った奥行距離判断課題の個人間の違いが自己身体の主観的位置の知覚や奥行に対する感度の違いで説明できるのかについて検討するために，以下の流れでまず予備実験を行っていった (図 3.1)。

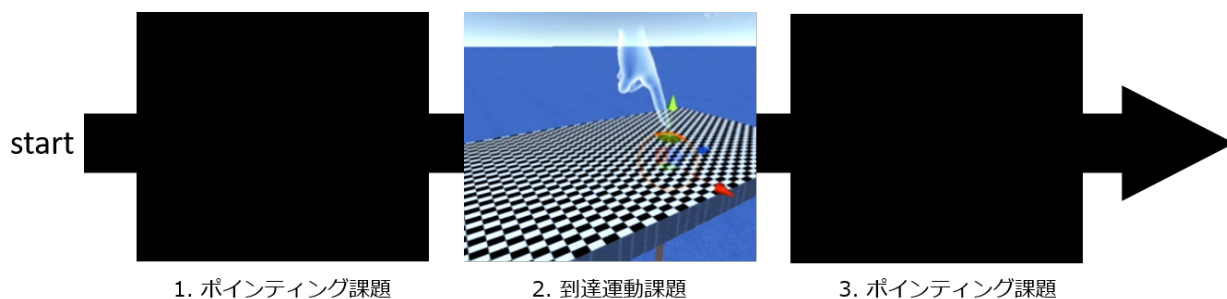


図 3.1 実験 2 の予備実験の流れ

図 3.1 より，1 と 3 にあるポインティング課題の時に被験者には，左手 Oculus Touch を人差し指を伸ばした状態で持った上で右手人差し指で上から左手人差し指先端位置を指し示してもらう。指し示してもらった場所を実験者が定規を用いて，実際に位置する左手人差し指先端位置からの差異を測定する (図 3.2)。

### 3.2 予備実験の結果と改善点

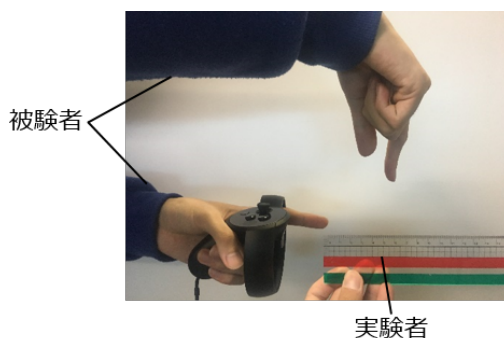


図 3.2 実験 2 の予備実験におけるポインティング課題

### 3.2 予備実験の結果と改善点

表 3.1 実験 2 の予備実験結果

	到達運動課題前後の主観的位置 (cm)	virtual hand 条件		sphere 条件	
		Normal 条件	Extend 条件	Normal 条件	Extend 条件
被験者 A	前	3	2	2	2
	後	3	5	2	5
被験者 B	前	9	4	4	5
	後	5	6	3	4
被験者 C	前	0	0	-2	-2
	後	-2	-3	0	-1
被験者 D	前	-1	0	-2	0
	後	0	2	1	0
被験者 E	前	-5	-5	-5	-5
	後	-3	-2	-7	-1
被験者 F	前	0	-1	0	0
	後	-1	3	-2	2
被験者 G	前	2	-1	-2	0
	後	-2	-3	0	-2
被験者 H	前	2	0	0	-1
	後	0	-2	-2	1

予備実験における各被験者ごとの実験結果を表 3.1 に示す。有意な差は、どの条件間でも認められなかった。予備実験を行ったうえで実験手法の改善点が見つかった。それが実験者が測定するまでの間、被験者自身が右手人差し指で左手人差し指先端位置を指し示している指自体が移動してしまうため正確な位置が測定できないことが判明した。よって、実験者が実際の指先位置から主観的位置の差異を測定するのではなく、被験者自身で判断する VR 環境を構築することに変更した。次からの章が実験手法の改善した内容をもとに述べている。

### 3.3 実験 2 の刺激

## 3.3 実験 2 の刺激

実験 2 で用いた装置について詳しく述べる。尚、実験 1 と共通している部分は省略する。

### 3.3.1 自己身体位置の評価課題で使用する刺激

実験 2 の自己受容感覚による自己身体の位置を判断させる課題 (ポインティング課題) では、実際の人差し指に沿って直径 5 mm、長さ 2 m の円柱を提示した。その円柱上に被験者が自己身体の位置を判断するための赤いマーカを設定した (図 3.3 右)。図 3.3 左には、バーチャルな手のモデルが表示されているが、被験者にはバーチャルな手は見えておらず円柱と赤いマーカのみが見えている状態で実験をおこなった。

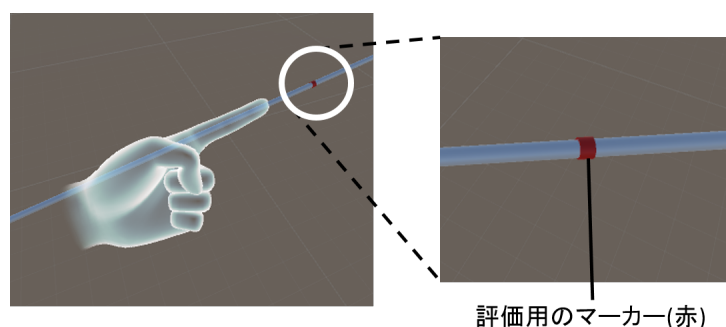


図 3.3 ポインティング課題 (被験者には手は見えていない)

## 3.4 実験 2 の実験方法

### 3.4.1 実験 2 の手続き

被験者は自己受容感覚による自己身体の位置を判断させる課題 (ポインティング課題) を実験 1 でおこなった到達運動課題の前後でそれぞれ行った。また、実験 1 と同じように左手は人差し指を伸ばした状態で持つように指示した。実験の流れとして、ポインティング課題 1 回目→到達運動課題 (60 試行) →ポインティング課題 2 回目の流れで行った (図 3.4)。ポインティング課題では右手用の Oculus Touch のスティック部分を用いて VR 空間上に提示

### 3.4 実験2の実験方法

された評価用のマーカーをで操作し、左手人差し指の主観的位置の判断を行った。また、時間的な主観的位置の変化量(ドリフト量)の時間的な変化を観察するために、1試行につき10sの時間範囲で5回計測(0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50)した。10s以内に判断ができなかった場合には、強制的に次の判断に移行した。実験は順序効果を避けるため、提示される赤いバーの提示位置はランダムに表示した。

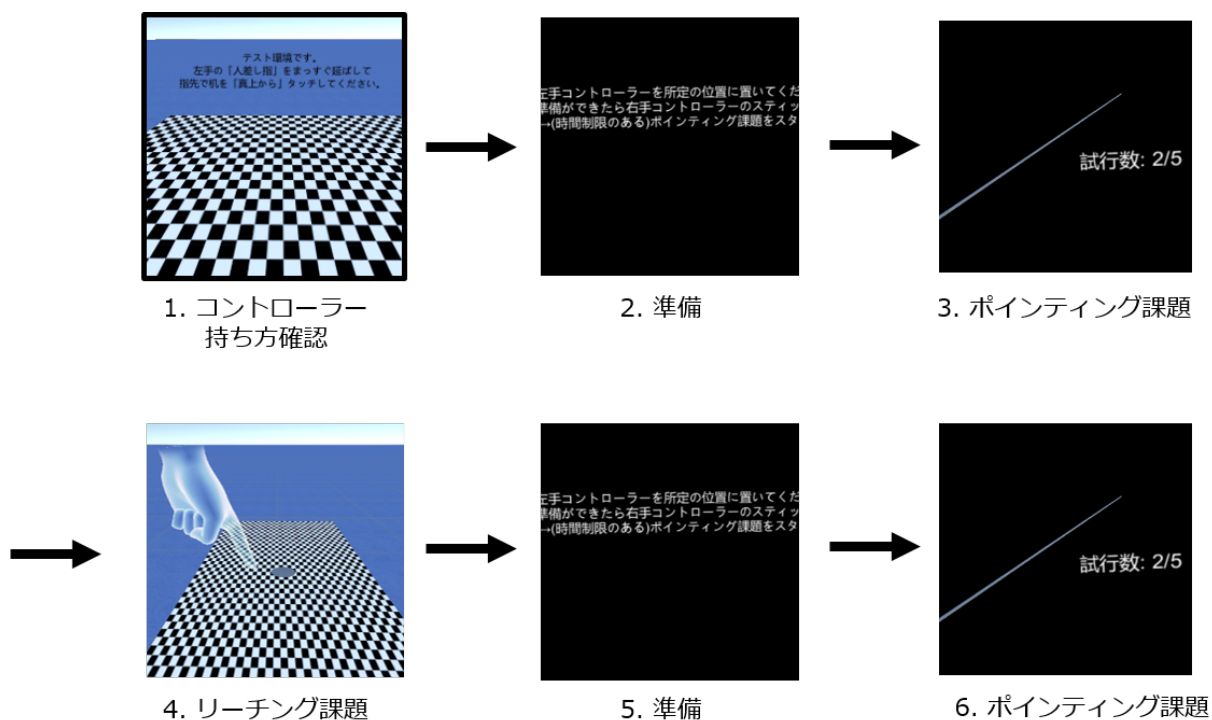


図 3.4 実験2の流れ

#### 3.4.2 被験者

被験者は正常な視力(矯正視力を含む)の大学生8名で行った。実験を行うにあたって、実験内容の説明書を読み、実験の目的および実験内容・手続きを理解した上で自由意思による参加である同意を署名によって得た。正常な視力については、提示する刺激を実験前に見てもらい認識できるかどうかを確認した上で参加してもらった。

## 3.5 実験 2 の結果

### 3.5 実験 2 の結果

#### 3.5.1 データの解析手順

実験により得られたデータは図 3.5 参照に示すように奥行き方向に左手人差し指先端位置が変化していれば正の値になり，逆に手前側に変化していれば負の値になる．手の位置条件，モデル条件間ごとに左手人差し指先端位置の主観的位置を分け，各条件ごとでそれぞれ平均値をとり各条件ごとのデータを導出した．

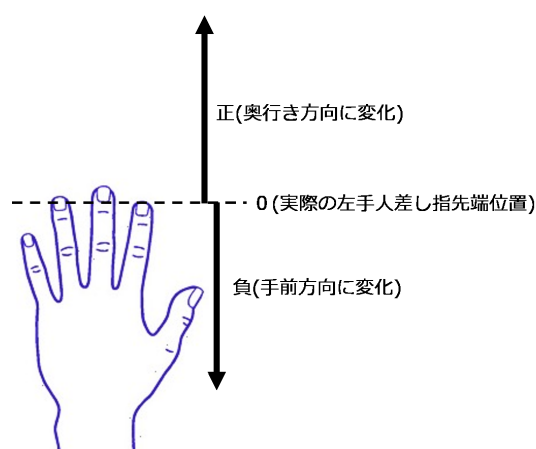


図 3.5 主観的位置の変化量の値

#### 3.5.2 実験 2 の結果 (各条件ごとの平均値)

実験 2 のポインティング課題で測定した自己身体の主観的位置の平均値を分析した結果を図 3.6, 図 3.7, 図 3.8, 図 3.9 で示す．図 3.6 と図 3.7 は virtual hand 条件と sphere 条件に分けて手の位置条件ごとにプロットしたもので，図 3.8 と図 3.9 は Normal 条件と Extend 条件に分けてモデル条件ごとにプロットしたものである．いずれの条件でも誤差が大きく有意な差が認められなかった．

### 3.5 実験2の結果

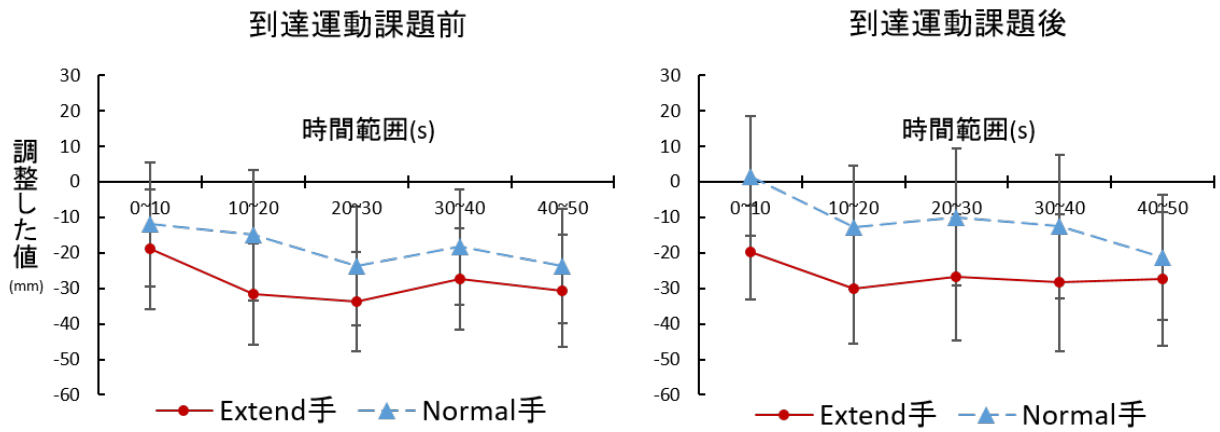


図 3.6 virtual hand 条件 (個人間の平均値)

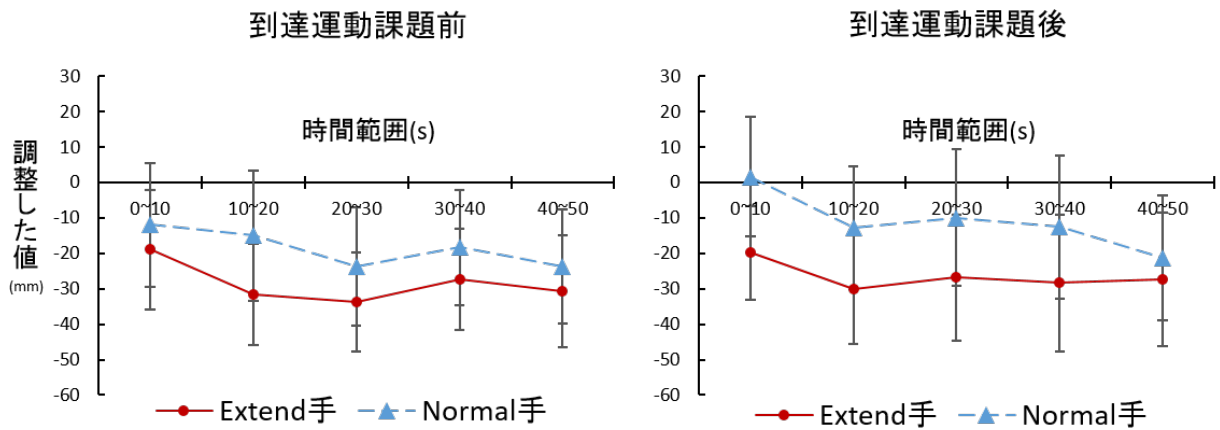


図 3.7 sphere 条件 (個人間の平均値)



### 3.5 実験2の結果

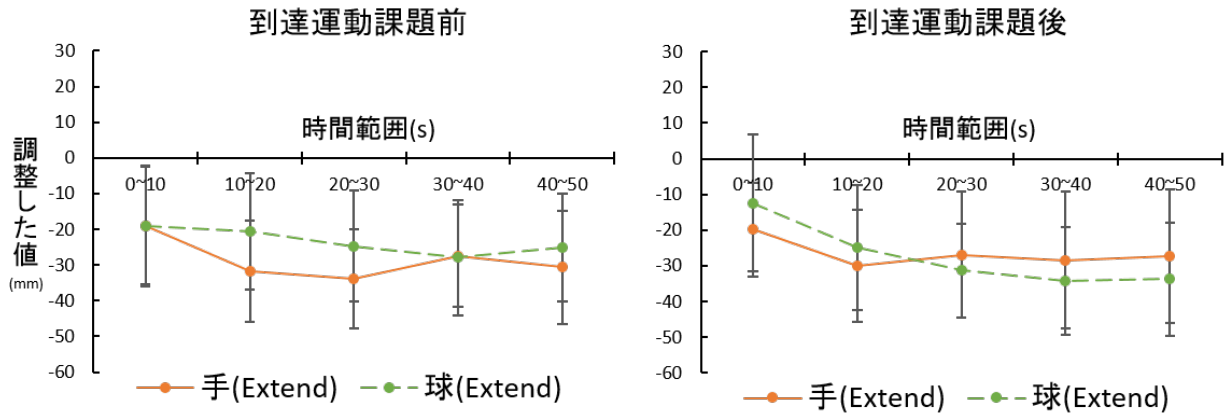


図 3.8 Extend 条件 (個人間の平均値)

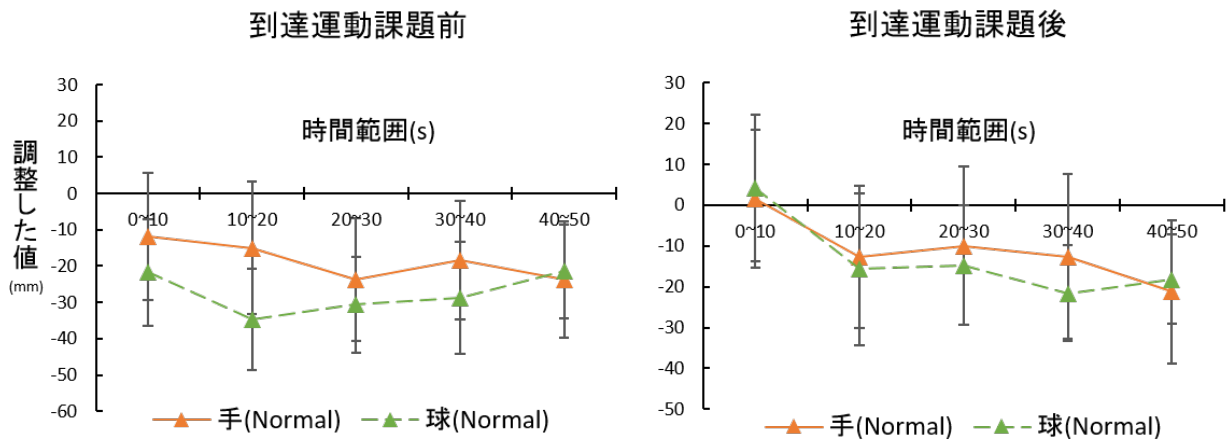


図 3.9 Normal 条件 (個人間の平均値)

### 3.5 実験 2 の結果

表 3.2 virtual hand 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Extend 条件)

virtual hand 条件						
	到達運動課題前後の主観的位置 (mm)	0~10s	10~20s	20~30s	30~40s	40~50s
被験者 A	前	59.20	12.80	-10.80	21.00	13.40
	後	28.80	25.00	-9.60	-0.20	-25.20
被験者 B	前	-28.80	-29.40	-25.80	-34.00	-45.60
	後	-22.40	-51.20	-59.60	-61.80	-69.40
被験者 C	前	-88.80	-84.80	-93.00	-98.20	-102.80
	後	-78.40	-69.80	-80.80	-78.80	-76.60
被験者 D	前	20.80	-19.00	-27.20	-14.80	-45.00
	後	26.40	18.40	54.20	68.40	68.20
被験者 E	前	-21.60	-56.80	-36.20	-44.40	-31.80
	後	-53.60	-72.40	-89.00	-73.60	-39.00
被験者 F	前	-73.60	-86.00	-92.00	-62.20	-69.00
	後	-36.80	-84.40	-46.20	-84.00	-89.80
被験者 G	前	-20.80	1.20	9.40	-0.60	27.20
	後	-24.80	-1.40	11.00	1.60	6.00
被験者 H	前	1.60	8.80	5.00	13.40	8.40
	後	1.60	-4.60	4.80	1.20	7.00

表 3.3 virtual hand 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Normal 条件)

virtual hand 条件						
	到達運動課題前後の主観的位置 (mm)	0~10s	10~20s	20~30s	30~40s	40~50s
被験者 A	前	27.20	28.20	-2.40	10.00	1.40
	後	68.80	31.80	51.60	73.00	7.20
被験者 B	前	24.80	22.20	-10.80	-11.80	-4.00
	後	7.20	-29.20	-31.00	-39.40	-35.20
被験者 C	前	-87.20	-84.60	-86.80	-77.80	-84.00
	後	-34.40	-32.60	-36.40	-45.80	-60.80
被験者 D	前	37.60	33.20	42.60	35.00	14.40
	後	64.80	48.60	58.40	45.00	42.00
被験者 E	前	-86.40	-100.60	-80.00	-76.40	-83.40
	後	-53.60	-81.20	-69.80	-80.00	-75.80
被験者 F	前	-11.20	-29.40	-65.80	-60.00	-64.40
	後	-52.00	-74.60	-88.80	-78.80	-87.00
被験者 G	前	-10.40	8.60	6.80	18.40	18.60
	後	11.20	23.00	23.20	9.80	22.00
被験者 H	前	10.40	2.20	6.80	16.00	11.40
	後	0.80	12.40	13.40	15.20	17.80

### 3.5 実験2の結果

表 3.4 sphere 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Extend 条件)

sphere 条件						
	到達運動課題前後の主観的位置 (mm)	0~10s	10~20s	20~30s	30~40s	40~50s
被験者 A	前	7.20	9.60	-5.00	-3.00	-11.60
	後	2.40	-10.20	-8.40	-20.80	-5.00
被験者 B	前	-61.60	-42.80	0.00	-29.00	-27.20
	後	-38.40	-49.20	-39.20	-34.60	-47.80
被験者 C	前	-77.60	-86.60	-78.00	-100.00	-96.60
	後	-50.40	-78.80	-83.80	-92.00	-91.40
被験者 D	前	39.20	28.20	39.80	21.60	46.00
	後	92.00	70.80	28.20	29.40	34.40
被験者 E	前	-64.00	-60.00	-71.00	-73.80	-59.60
	後	-91.20	-82.80	-64.20	-90.20	-86.40
被験者 F	前	-36.00	-55.80	-73.20	-62.40	-41.80
	後	7.20	-35.20	-58.80	-53.00	-59.80
被験者 G	前	6.40	7.20	-12.20	6.60	2.00
	後	-30.40	-14.60	-14.20	-10.40	2.00
被験者 H	前	34.40	35.40	2.20	16.40	-12.00
	後	9.60	1.00	-10.60	-2.00	-15.20

表 3.5 sphere 条件における各被験者の判断した主観的位置 (Normal 条件)

sphere 条件						
	到達運動課題前後の主観的位置 (mm)	0~10s	10~20s	20~30s	30~40s	40~50s
被験者 A	前	19.20	11.40	3.00	-0.40	2.40
	後	23.20	4.80	-10.60	-27.60	-39.00
被験者 B	前	-56.80	-47.80	-58.80	-50.40	-44.20
	後	NA	NA	-25.00	-34.40	-29.20
被験者 C	前	-84.00	-93.60	-83.60	-122.60	-90.20
	後	-59.20	-73.40	-78.00	-82.40	-85.80
被験者 D	前	-56.80	-73.60	-33.20	-21.00	0.20
	後	72.80	54.60	36.00	21.40	2.00
被験者 E	前	-60.00	-59.20	-78.20	-73.80	-62.80
	後	-63.20	-90.60	-85.60	-67.00	-38.00
被験者 F	前	-24.80	-47.20	-53.00	-47.80	-49.20
	後	12.00	-28.40	-29.00	-43.00	-55.20
被験者 G	前	17.60	4.60	9.00	-10.80	4.80
	後	-2.40	-10.80	11.40	-13.00	4.00
被験者 H	前	15.20	2.00	2.20	9.00	0.00
	後	1.60	-3.20	-6.60	-6.20	-3.60

### 3.5 実験2の結果

#### 3.5.3 分散分析の結果

自己身体の到達運動課題前後の主観的位置の変化量(ドリフト量)の分散値について分析した(図3.10). 手に対応するモデル, 手の位置条件の2要因による混合要因計画の分散分析を行った結果, Normal条件において, モデルの主効果が見られた( $F(1,8)=23.52, p<.01$ ). 手の位置の主効果は見られず, また交互作用も見られなかった.

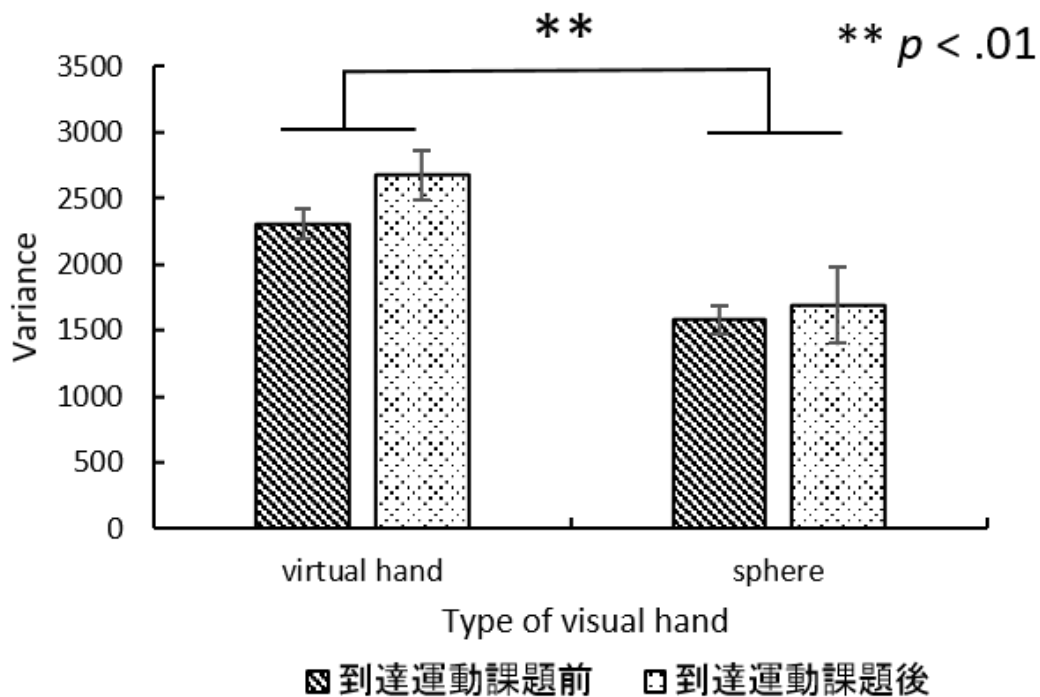


図3.10 Normal条件におけるドリフト量の分散

そこで, 実験1の奥行きを判断した値と実験2のドリフト量の間で相関分析をしたところ, 球のモデルの条件においてのみ Extend条件の方がNormal条件より有意に相関が高く( $p<.05$ ), 最も大きな相関を示した.

### 3.6 実験2の考察

手の位置条件間で有意な差は認められなかったが、比較的 Normal 条件とは違って、Extend 条件では左手人差し指の主観的位置を負の値（つまり手前側）で判断している傾向が見られた（図 3.8, 図 3.9）。これは Extend 条件における実際の指先位置より異なる位置で提示された視覚フィードバックを用いることで、自己の手が伸びたという錯覚から対象までの視距離が長くなり実際の左手人差し指の先端位置が奥にずれたと感じる（図 3.11 左）ことにより、到達するまでに延ばしていた腕がより短い距離で到達できたと感じることから、空間自体が小さくなったと錯覚し、対象までの視距離が短くなることで手前側に左手人差し指先端位置がずれた（図 3.11 右）者の方が多かったのではないかと考えられる。また、Normal 条件において sphere 条件より virtual hand 条件の方が分散値が大きかったことから、操作したモデルが実際の手との類似性が高くなると、かえって手の位置の知覚が個人間で異なることが示唆された。また、球のモデルの条件においてのみ Extend 条件の方が Normal 条件より有意に相関が高いことから、操作した視覚フィードバック情報が手よりも球のモデルの方が奥行きの違いを知覚しにくく、奥行きに対する感度の違いによって奥行き知覚やドリフト量の大きな差を生じ分散が大きくなった可能性が考えられる。

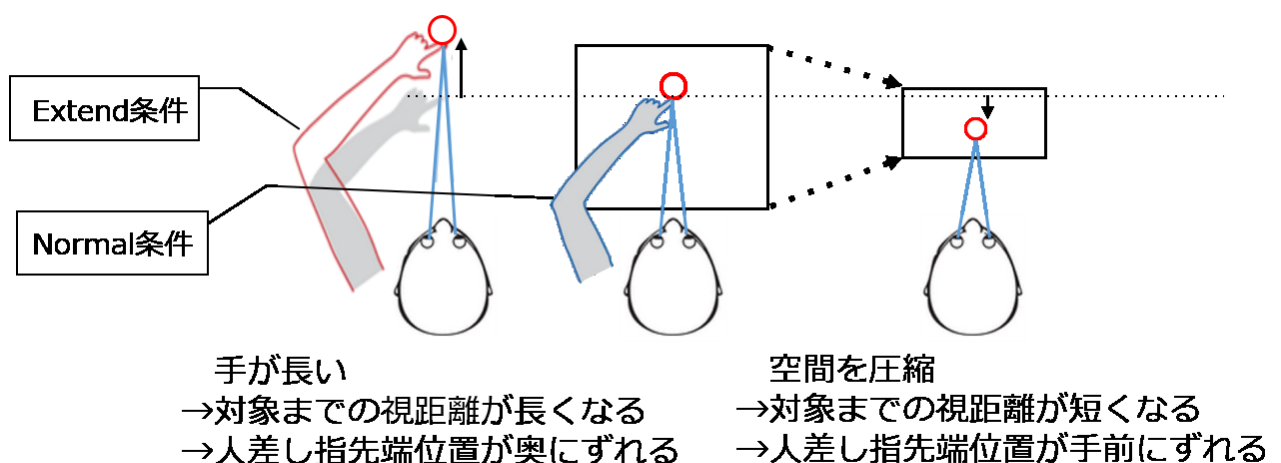


図 3.11 実験2 考察の模式図

## 第 4 章

# 全体の考察

### 4.1 奥行き距離判断課題における評価について

実験の結果について考察する前に被験者に行ってもらった「物体間の奥行き距離判断課題」で被験者が調整する奥行き距離の評価について説明する。左右の円柱間距離（A）に対して、過大評価または過小評価という 2 つの評価が実際に被験者が行う評価と考えられる。今回の課題で評価される 2 つの具体的な位置について図 4.1 より説明する。中央にある 3 つの円柱位置が正確に調整した時の奥行き距離となる。つまり、左右の円柱間距離（A）と奥行き距離（B）が同じ距離（ $A=B$ ）になっているということである。次に、右にある円柱位置では、適切に判断できた位置よりも短い距離で調整した B をそれより長い「適切に判断できる位置」だと知覚したので「過大評価」したという結果（ $A > B$ ）となる。一方、左にある円柱位置では、適切に判断できた位置よりも長い距離で調整したため、これは逆に B をそれより短い「適切に判断できる位置」だと知覚したので「過小評価」したという結果となる。

## 4.2 実験間の考察

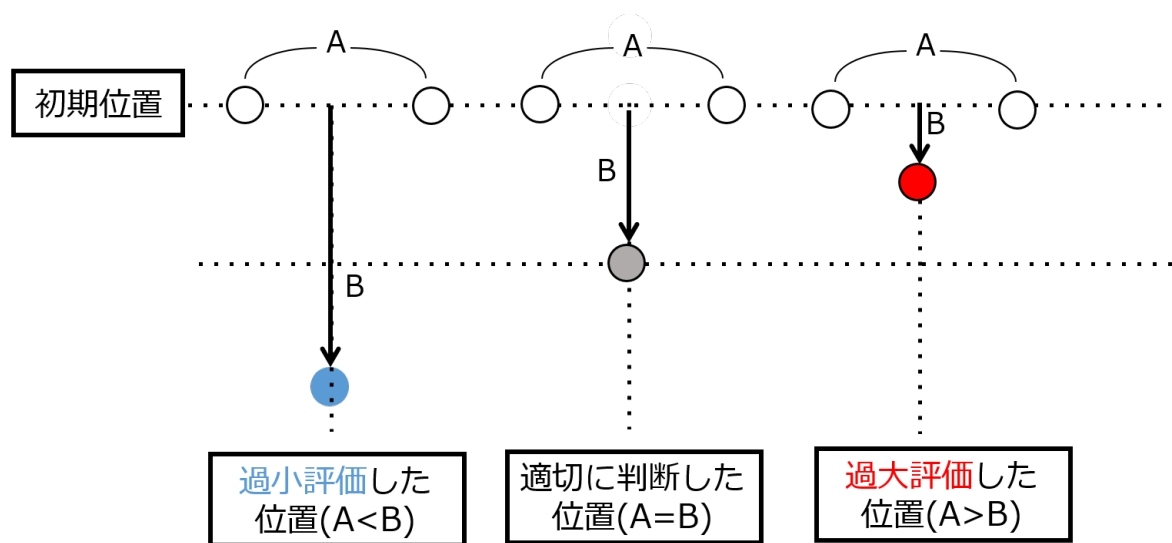


図 4.1 奥行き距離判断課題における評価 (模式図)

## 4.2 実験間の考察

実験 1 と実験 2 の結果を比較すると、相関関係があったことから奥行き距離判断をした課題と自己身体の主観的位置を判断した課題の間で以下の考察が考えられる。Extend 条件では自己の手が伸びる錯覚や空間が圧縮されたように感じられるでもなく、ただ単に自分の現実の手の位置から少し離れたオブジェクトを操作する感覚でしかないとも考えることもできる。また、virtual hand 条件では実際に現実の手の形状に類似したモデルを操作することで、このモデル自体をものさしとして物体間の奥行き距離を推定したのではないかと考える。つまり、日々無意識化で使用している我々の手がどれだけの大きさであるかが日常経験的に把握できているおかげで、物体間の奥行き距離を判断させた課題では sphere 条件より分散が小さくなったのではないかと考えられる (図 2.15)。

一方で自己身体の主観的位置を判断させた課題では、virtual hand 条件では操作する視覚フィードバック情報が自己の手ではないと認識できてはいるが逆に自己身体位置を判断させた場合、そのフィードバック情報自体がノイズとなり適切な判断から遠ざけているのではないかと考えられる。したがって、sphere 条件のほうが virtual hand 条件より分散が小さくなったのではないかと考えられる (図 3.10)。

### 4.3 今後の展望

実験問の考察でも述べた通り，本研究では物体間の奥行き距離を判断させる課題と自己身体の主観的位置を判断させる課題とで共通する考察を述べたが，それを確認する実験手法は今のところ考えられない。したがって，先行研究より述べられていたリーチングの効果について本研究に沿った環境で研究を行っていくことを考える。本研究では奥行き方向に対する物体への接触を繰り返す単純な動作をリーチングの動作として取り入れていたが，この動作をより日常的な動作に変えることでリーチングの効果がより後の課題に影響するのではないかと考える。日常的な動作とは，例えば物をつかむ，運ぶ，握るなどといった普段から行っている動作を指す。HMD を用いた VR 環境を用いることで現実世界とは違う違和を感じてしまっている可能性も考えられるので，課題における動作はより現実空間で繰り返し行っている動作を取り入れようという考えである。



# 第 5 章

## まとめ

本研究では、VR 空間において操作するバーチャルな自己身体モデルを実際の手との類似性を操作することで、その視覚フィードバック情報が 3 次元空間知覚の変容においてどのような影響を及ぼすか、またその効果を実験 1 で検討した。得られたデータから解析を行ったところ、奥行き距離は手の位置条件、モデル条件他どの条件間でも有意な差は認められなかった。次に各視距離、円柱間距離条件において手の位置条件間における調整した奥行き距離の分散値について分析したところ操作する手のモデルの主効果が見られたが手の位置の違いの主効果は見られず、また交互作用も見られなかった。virtual hand 条件より sphere 条件の方が分散値が大きいことから、球のような抽象的な視覚フィードバックは手と比べて身体的位置知覚の差が個人間で生じやすいという仮説が考えられる。また、球の位置の知覚が手のモデルよりも知覚しにくく、このことがより大きな個人差を生じた可能性もある。そこで、個人間の違いが自己身体の主観的位置の知覚や奥行きに対する感度の違いで説明できるのかを実験 2 で検討した。実験の結果、実験 1 同様どの条件間でも有意な差は認められなかった。また、自己身体の到達運動課題前後の主観的位置の変化量 (ドリフト量) の分散値について分析したところ、Normal 条件においてモデルの主効果が見られ手の位置の主効果は見られず、また交互作用も見られなかった。Normal 条件において sphere 条件より virtual hand 条件の方が分散値が大きかったことから、操作したモデルが実際の手との類似性が高くなると、かえって手の位置の知覚が個人間で異なることが示唆された。また、Extend 条件においてどちらのモデルでもドリフト量に有意な差が認められなかったことも合わせて、奥行き判断の個人差が手のモデルによって異なることが自己身体の主観的位置の変化の程度では説明することができないことが示された。そこで、実験 1 の奥行きを調整した値と実験

2 のドリフト量の間で相関分析をしたところ、球のモデルの条件においてのみ Extend 条件の方が Normal 条件より有意に相関が高く、最も大きな相関を示した。したがって、球のモデルで個人差が大きかったのは自己身体の主観的位置の違いではなく、奥行きが知覚しにくい球のモデルでは位置の条件の差を知覚しにくいため、奥行きの感度の違いが個人差を生じ分散が大きくなったことが示唆された。

本研究で行った到達運動が奥行き方向に位置する目標物に対して接触するという単純な動作による効果を検討したが、今後はより日常生活で普段行っている動作を取り入れることで、より順応による効果を高める可能性が考えられ検討する必要性もあると言える。例えば、物をつかむ、運ぶ、握るなどを取り入れた動作による奥行き判断知覚の変容とその効果を検討していく必要がある。

# 謝辞

本研究および論文の作成するにあたり，多くのご支援と熱心なご指導ご鞭撻を賜りました繁榘博昭先生に深く感謝いたします。また，本論文の副査を務めて頂き，適切なアドバイスを頂いた篠森敬三先生，門田宏先生にも深く感謝いたします。実験を行うにあたって快適な環境作りと被験者を快く引き受けて頂いた繁榘研究室の皆様，他研究室の皆様にも心より感謝いたします。ありがとうございました。

# 参考文献

- [1] GitHub, Hover-VR-Interface-Kit, <https://github.com/tcboy88/Hover-VR-Interface-Kit>, (最終閲覧日)2018年1月28日
- [2] LEAP MOTION / GALLERY, Image Hands: 500 Blocks, <https://developer-archive.leapmotion.com/gallery/image-hands-500-blocks>, 最終閲覧日 (2018年1月30日)
- [3] 川村 卓也, 繁梶 博昭. 自己受容感覚における身体の奥行き位置および能動的運動の視覚情報の効果, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2016 21(1) pp.141-147.
- [4] Volcic R, Fantoni C, Caudek C, Assad JA & Domini F. “Visuomotor adaptation changes stereoscopic depth perception and tactile discrimination”, *The Journal of Neuroscience*, 2013 33(43):17081-17088.
- [5] 舘 暁, 佐藤誠, 廣瀬通孝, “バーチャルリアリティ学”, コロナ社, 2010.
- [6] Oculus VR, “Toybox”, <https://www.oculus.com/experiences/rift/1083042371786607/>, 最終閲覧日 (2018/1/29)
- [7] Oculus VR, “MineCoaster”, <https://share.oculus.com/app/minecoaster>, Version:0.8, 2014, 最終閲覧日 (2016/1/28)
- [8] 電子情報通信学会「知識ベース」, “3章 触覚と体性感覚”, 電子情報通信学会, ver.1/2010.2.1, 1(10)-3(10)
- [9] Gallagher, S. “Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science”, *Trends in Cognitive Science*, 4(1), pp. 14-21 (2000)
- [10] 日本視覚学会 編, “視覚情報処理ハンドブック”, 朝倉書店, 2000, pp.283-333.
- [11] “立体視テクノロジー -次世代立体表示技術の最前線-”, 東京 NTS, 2008.10.
- [12] Howard IP, “Depth perception”, 2002, *Seeing in Depth vol1*, I Porteous
- [13] 3D 立体視の解体新書 - 立体視という知覚 (3)～両眼立体視,

## 参考文献

- <https://news.mynavi.jp/article/graphics-98/>, 最終閲覧日 (2018 年 1 月 21 日)
- [14] 中溝幸夫, 下野孝一. “視覚系による絶対距離情報を用いた奥行きのスケーリング”, 2001, *Vision* 13, pp. 163-180
- [15] 長田 昌次郎. “視覚の奥行距離情報とその奥行感度”, NHK 放送科学基礎研究所, Vol. 31 (1977) No. 8 P 649-655
- [16] Holway AH, Boring EG. “Determinants of apparent visual size with distance variant”, *American Journal of Psychology*, (1941), 54, pp21-37
- [17] 繁榎博昭, “VR, AR における奥行き, 3次元知覚の特性とそのメカニズム”, 技術情報協会 VR/AR 技術の開発動向と最新応用事例
- [18] Johnston EB. “Systematic distortions of shape from stereopsis”, *Vision Research*, 31, 1351-1360, 1991.
- [19] Iseki, R ANOVA 君, <http://riseki.php.xdomain.jp/index.php?ANOVA> 君, 最終閲覧日 (2018/2/1)
- [20] Slater, M., Perez-Marcos, D., Ehrsson, H. H. and Sanchez-Vives, M. V.: Towards a digital body: the virtual arm illusion; *Frontiers in human neuroscience*, 2, 6, (2008)
- [21] Sally A, Jessica K, Jeanine K, Jonathan Z, Dennis R. “The Effects of Handedness and Reachability on Perceived Distance”, *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 2009 Dec; 35(6): 1649-1660. doi:10.1037/a0016875
- [22] Gallagher, S. “Philosophical conceptions of the self: implications for cognitive science”, *Trends in Cognitive Science*, 4(1), pp. 14-21 (2000)
- [23] Holway AH, Boring EG, “Determinants of apparent visual size with distance variant”, *American Journal of Psychology*, (1941), 54, pp21-37
- [24] Sally A, Jessica K, Jeanine K, Jonathan Z, Dennis R. “The Effects of Handedness and Reachability on Perceived Distance”, *J Exp Psychol Hum Percept Perform.* 2009 Dec; 35(6): 1649-1660. doi:10.1037/a0016875
- [25] Nami Ogawa, Takuji Narumi & Michitaka Hirose. “Distortion in perceived size and

## 参考文献

- body-based scaling in virtual environments”, The 8th International Conference on Augmented Human (AH2017), doi:10.1145/3041164.3041204
- [26] 中村彰宏・志堂寺和則. “仮想空間の奥行推定における腕のリーチの効果”, 映情学技報, vol. 41, no. 40, HI2017-77, pp. 39-42, 2017年11月.
- [27] van der Hoort B, Guterstam A & Ehrsson HH. “Being Barbie: The Size of One’s Own Body Determines the Perceived Size of the World”, PLoS ONE 2011 6(5): e20195. doi:10.1371/journal.pone.0020195.