

平成 30 年度  
修士学位論文

# 視野外の空間表象に対する自己運動の影響

Effects of self-movement on the spatial  
representation out of the visual field

1215092 中野 由童

指導教員 繁榎 博昭

2019 年 2 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻  
情報学コース

# 要 旨

## 視野外の空間表象に対する自己運動の影響

中野 由童

私たちは、空間や物体の位置を認識・把握するために、五感情報および前庭感覚、体性感覚から得た情報を統合して処理（マルチモーダル処理）し、その情報に基づく空間的な表象の形成も行っている。こうした空間的な表象の形成と自己運動の関係性については多くの先行研究があり、観察者が能動的に移動すると、その運動に合わせて空間表象の更新が行われるという報告や、ある経路の移動後にゴール地点からスタート地点の方向を判断させる課題を行うと、自己の運動感覚のみで移動した方が視覚情報のみで移動する場合より正確にスタート地点方向を判断した報告などが挙げられる。これらの先行研究から自己運動情報が空間表象の更新に影響を与えていることが推測されるが、空間の視覚運動情報のみでも、その情報に合わせて空間表象が自動的に更新したことも報告されており、空間表象の更新における自己運動情報の寄与の特性は明らかではない。本研究では、呈示される視覚情報を同一にした上で、自己の運動感覚がある場合とない場合のポインティング課題を行い、自己身体と視野外の対象物の位置関係の更新における自己運動の寄与の特性を検討した。加えて、対象物が移動し、自己運動の成分と物体運動の成分が存在する場合の検討も行った。実験の結果、視覚情報に加え自己の運動感覚がある場合、対象物の位置が視野外となり直接観察できない状態であっても、前庭感覚や体性感覚による情報から対象物の位置を推測することで、空間表象をより正確に更新できることが示唆された。また対象物が移動し、網膜像の速度が低下する場合、自己の運動感覚の有無に関わらず、物体の運動量を過小評価することが示され、網膜像の速度が上昇する場合、物体の運動量を過小評価することが示された。

キーワード 空間表象 マルチモーダル処理 自己運動感覚 物体運動知覚

# Abstract

## Effects of self-movement on the spatial representation out of the visual field

Yudo NAKANO

In order to perceive the environmental space and the position of objects, we use many sense modalities such as visual, auditory and vestibular senses. The information obtained from such modalities is integrated and processed. This process is called multimodal processing. Information of the space and object position obtained by multimodal process produce not only simple perception itself but also the spatial representations based on the multimodal information. For example, even if the observer moves from a position where an object become out of visual field, the rough position of the object can be known. This is because the spatial representation of the object position is formed from visual, vestibular, and somatosensory information by the observer's self-motion. There are many previous studies about the relationship between such spatial representation and self-motion. The spatial representation according to the self-motion were reported to be updated. If participants judged the direction to the start point from the goal position after moving some route, the judgement was more accurately with vestibular and somatosensory self-motion perception than moving only with the visual information. From these previous studies, self-motion information may affect updating spatial representation. In contrast, spatial representation was also reported to be automatically updated in accordance with the visual motion information alone. Thus, the contribution of self-motion information in updating spatial representation is still un-

clear. In this study, pointing tasks to the object out of the visual field were conducted with or without the sense of self-motion and with the same visual information. From this task, the contribution in updating the positional relationship between self-body and objects outside the field of view was investigated. The condition that objects move during self-motion was also examined. This condition has components of both self-motion and object motion and participants should discriminate these components. The results showed that when there is a sense of self-motion in addition to visual information, the spatial representation was updated more accurately and the position of the object out of the visual field was more precisely judged. When the object moves towards the same direction of self-motion, the speed of the retinal image decreased and the object motion was underestimated regardless of the presence or absence of self-motion perception while the object moved against the direction of self-motion, the retinal image speed increased and the object motion were overestimated.

***key words*** Spatial representation, Multimodal, Self-movement sensation, Object motion perception

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	研究背景 . . . . .	1
1.2	マルチモーダル処理 . . . . .	2
1.2.1	自己運動感覚 . . . . .	2
1.3	表象 . . . . .	3
1.4	物体運動知覚 . . . . .	4
1.4.1	運動の空間的対比 . . . . .	4
1.4.2	運動視における時間的効果 . . . . .	5
	運動残効 . . . . .	5
	フラッシュ・ラグ効果 . . . . .	6
1.5	研究目的 . . . . .	7
<b>第 2 章</b>	<b>実験環境</b>	<b>8</b>
2.1	実験装置 . . . . .	8
2.1.1	使用ソフトウェア . . . . .	8
2.1.2	視覚刺激呈示デバイス . . . . .	8
2.1.3	ポインティング位置取得用入力デバイス . . . . .	8
2.1.4	IR カメラ . . . . .	10
2.2	実験風景 . . . . .	11
<b>第 3 章</b>	<b>実験方法</b>	<b>12</b>
3.1	刺激および条件 . . . . .	12
3.1.1	刺激 . . . . .	12
3.1.2	条件 . . . . .	14

## 目次

	回転条件 . . . . .	14
	ターゲット運動条件 . . . . .	15
3.2	被験者 . . . . .	16
3.3	手続き . . . . .	16
<b>第 4 章</b>	<b>結果</b>	<b>20</b>
4.1	データ解析手順 . . . . .	20
4.2	視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果 . . . . .	21
4.2.1	X 座標 . . . . .	21
4.2.2	Z 座標 . . . . .	23
4.2.3	Y 座標 . . . . .	24
4.2.4	ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離 . . . . .	25
4.3	ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果 . . . . .	26
4.3.1	ターゲットの初期位置 . . . . .	26
4.3.2	利き手・非利き手 . . . . .	29
<b>第 5 章</b>	<b>考察</b>	<b>31</b>
5.1	X 座標 . . . . .	31
5.2	Z 座標 . . . . .	36
5.3	Y 座標 . . . . .	37
5.4	ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果 . . . . .	37
5.4.1	ターゲットの初期位置 . . . . .	37
5.4.2	利き手・非利き手 . . . . .	38
<b>第 6 章</b>	<b>補足実験</b>	<b>39</b>
6.1	刺激および条件 . . . . .	40
6.1.1	視覚刺激 . . . . .	40

## 目次

6.1.2	呈示条件 . . . . .	41
	回転条件 . . . . .	41
	ターゲット運動方向条件 . . . . .	41
6.2	被験者 . . . . .	41
6.3	手続き . . . . .	42
6.4	結果 . . . . .	43
6.4.1	X 座標 . . . . .	43
6.5	考察 . . . . .	44
6.5.1	X 座標 . . . . .	44
<b>第 7 章</b>	<b>まとめ</b>	<b>47</b>
	<b>謝辞</b>	<b>48</b>
	<b>参考文献</b>	<b>49</b>

# 目次

1.1	運動残効 [10]	6
1.2	フラッシュ・ラグ効果	7
2.1	HMD (Oculus VR 社 Oculus Rift)	9
2.2	コントローラ	9
2.3	IR カメラ	10
2.4	実験風景 (左: 被験者 右: VR 空間 (被験者目線))	11
3.1	VR 空間の呈示刺激	13
3.2	ターゲットの初期位置	13
3.3	バーチャルな手と実際の手	14
3.4	回転条件	15
3.5	ターゲット運動条件	16
3.6	手続き 1: 条件の教示	18
3.7	手続き 2: ターゲットの初期位置を確認	18
3.8	手続き 3: ポインティング位置の決定	19
4.1	取得する値	21
4.2	X 座標	22
4.3	Z 座標	23
4.4	Y 座標	24
4.5	ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離	25
4.6	ターゲットの初期位置 (X 座標値)	28
4.7	ターゲットの初期位置 (ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離)	28



## 目次

4.8	利き手・非利き手 (X 座標値) . . . . .	30
4.9	利き手・非利き手 (ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離)	30
5.1	Static 条件と Passive 条件の回転角の評価 . . . . .	32
5.2	Active 条件における Static 条件・Dynamic 条件の定位位置の絶対値 (X 座標)	34
5.3	Passive 条件における Static 条件・Dynamic 条件の定位位置の絶対値 (X 座標) . . . . .	35
5.4	Static 条件・Dynamic 条件の差分 . . . . .	35
5.5	呈示された刺激と形成された空間表象 . . . . .	37
6.1	ターゲットの初期位置 (補足実験) . . . . .	40
6.2	X 座標 (補足実験) . . . . .	44
6.3	本実験と補足実験の X 座標値のグラフの比較 . . . . .	45
6.4	Active 条件における本実験の Static 条件・incongruent 条件の定位位置の絶対値 (X 座標) . . . . .	46
6.5	Passive 条件における本実験の Static 条件・incongruent 条件の定位位置の絶対値 (X 座標) . . . . .	46

# 表目次

3.1 練習試行に用いた条件の組み合わせ . . . . .	19
6.1 練習試行に用いた条件の組み合わせ（補足実験） . . . . .	42

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 研究背景

私たちは、身の回りの環境や物体の位置を認識するために、視覚や聴覚などの五感情報及び前庭感覚、体性感覚から得た情報を統合して処理している。このような処理をマルチモーダル処理という。マルチモーダル処理で得られた空間や物体の位置の情報は、単純な知覚だけではなく、その情報に基づく表象の形成も行われている。例えば、観察者がある物体を観察できる位置から観察できない位置に移動した場合でも、その物体のおおよその位置が分かる。これは、観察者の自己運動により変化した視覚、前庭感覚、体性感覚の情報から対象物の位置の表象が形成され、視野外の物体の位置を推定できたためと考えられる。空間表象と自己運動の関係性については多くの先行研究があり、観察者が能動的に移動すると、その運動に合わせて空間表象の更新が行われるという報告 [1] や、ある経路の移動後にゴール地点からスタート地点の方向を判断させる課題を行うと、自己の運動感覚のみで移動した方が視覚情報のみで移動する場合より正確にスタート地点方向を判断した報告 [2] などが挙げられる。これらの先行研究から自己運動情報が空間表象の更新に影響を与えていることが推測されるが、空間の視覚運動情報のみでも、その情報に合わせて空間表象が自動的に更新したことも報告 [3] されており、視覚情報が存在した場合の空間表象の更新における自己運動の寄与の特性は明らかではない。そのため、視覚の運動情報のみによる空間表象の更新と、視覚の運動情報と自己運動情報による空間表象の更新を検討することで、視覚情報が存在した場合の自己運動情報の寄与の特性を検討できると考えられる。

以下の節では本研究に関連する語句、研究について触れ本研究の目的を述べる。

## 1.2 マルチモーダル処理

### 1.2 マルチモーダル処理

広く一般には視覚や聴覚などの感覚モダリティは分離したもので、モダリティ単体でのみ機能し、それぞれの感覚器から知覚情報が得られていると考えられているが、視覚情報が聴覚に影響を与える腹話術効果 [4] や視覚情報が自己受容感覚に影響を与えるラバーハンド錯覚 [5] などの現象は、感覚モダリティは単体だけではなく、複数の感覚モダリティが統合されて知覚されていることを示している。このように、視覚や聴覚などの五感情報及び前庭感覚、体性感覚から得た情報を統合する処理をマルチモーダル処理といい、マルチモーダル処理によって得られる知覚については、上記の感覚以外にもさまざまな感覚での統合処理が検討されているが、本稿では特に、自己運動の知覚に関するマルチモーダル処理を自己運動感覚として次項で説明する。

#### 1.2.1 自己運動感覚

人がある地点から移動した場合、主に視覚情報（風景）、前庭感覚情報（頭部の加速度）、体性感覚情報（手足の運動）の変化から自身の運動について知覚する。このような自己運動の知覚は、上記にもあるように主に前庭感覚や自己受容感覚から得られるが、視覚の情報も重要な役割を持っている。例えば、視野の広い範囲に一定方向に運動する視覚パターンを呈示すると視覚パターンとは逆方向へ自身が運動しているように知覚する視覚誘導性自己運動感覚（ベクション）が生じることが報告されている [6]。この現象は、実際の運動が無い場合でも視覚の情報により、前庭感覚や体性感覚に影響を与えることを示しており、自己運動感覚の知覚過程がマルチモーダルに処理されていることを示している。

### 1.3 表象

表象とは、心の中に表現された「あるもの」の表記、記号、シンボルである。すなわち、心に表現されたもの、その表現形式をさす。例えば、他人に道を教えるとき、多くの人は自分が実際に目的地まで行く自分の姿を想像しながら道を教えるであろう。この例のように、心の中で表現した現実空間が表象である。ここで説明した例以外にも表象には、多くの意味が含まれているが、その中でも特に本実験に沿った意味で言うと、心的イメージが該当する。

心的イメージとは、直接的な知覚入力なしに生じる、知覚の疑似現象である。例えば、「円錐の積み木を真下から見るとどのような形か」という質問に答えるとき、頭で想像する円錐が心的イメージの例である。このようにヒトは、実際に見ていない物体をあたかも見ているかのように想像できる。心的イメージの研究については主に視覚的なものに対して行われている。

その中でも代表的な研究が Shepard による心的回転と Kosslyn による心的走査である。Shepard による心的回転の研究では、2 つの同じ物体の形状が同じか被験者に判断させた。その結果、2 つの物体の向きが大きく異なるほど反応時間が増加した。これは被験者が、物体の形を把握するために、まるで実空間で物体を回転させたかのように、心の中で物体を回転させていたことが示唆された [7]。また、Kosslyn による心的走査では、被験者は小屋や泉などの位置が記された地図を覚えた後、ある地点を基準に地図全体のイメージを思い浮かべ、地図上の場所を表す語が呈示したとき、その場所が地図上にあるか答えた。その結果地図上での距離が遠いほど反応時間が遅くなった。これは被験者が、イメージした地図上を実際の地図を見ているのと同じように走査したことを示唆した。これらの研究結果により、実空間を内的に表現するような表象を有することが示された [8]。

このように人が直接知覚できない物体や空間をイメージの中で操作ができるのは、人生を送る中でその操作について習得していたためである。

具体的に説明すると、過去に行った行動に関する視覚や聴覚などの五感情報及び前庭感覚、体性感覚から得た情報をマルチモーダル処理し、その情報に基づく表象の形成を行うこと

## 1.4 物体運動知覚

で、イメージ内の操作を実空間内での操作と近いレベルで行うことができる。例えば心的回転の先行研究で言うと、実際に物体を手に取り、物体を色々な角度から観察した経験から、そのとき得られた視覚情報と体性感覚があるため、イメージ内でも同じように操作できたと考えられる。

このような表象の形成は、上記で説明したような過去の経験だけではなく、即時的にも行われている。例えば、観察者がある物体を観察できる位置から観察できない位置に移動した場合でも、その物体のおおよその位置が分かる。これは、観察者の自己運動により変化した視覚、前庭感覚、体性感覚の情報から対象物の位置の表象が形成され、視野外の物体の位置を推定できたためと考えられる。この例で形成された表象の様に物体や空間の距離、方向、位置を取得された複数の知覚から構成される空間的な表象のことを空間表象という。

以上のように表象の形成には、多くの知覚情報が利用されていることから、マルチモーダル処理によって得られた知覚は、単純な知覚だけではなく、その情報に基づく表象の形成も行われていることが分かる。

## 1.4 物体運動知覚

### 1.4.1 運動の空間的対比

運動の知覚は対象物の運動情報のみだけではなく、空間的、時間的に近傍する運動の影響を強く受ける。例えば、静止したターゲットが背景運動方向とは反対方向へ運動して見えることや [9]、同じ運動速度で移動する場合でも、背景速度が異なると運動速度が変化しているように見えることなどが挙げられる [10]。このような誘導刺激の反対方向の運動が知覚される現象を運動対比という [11]。また運動ターゲットの見かけの速度に関しては、同じ方向の背景運動により運動ターゲットの速度が低下したように感じ [12]、逆方向の背景運動は速度が上昇したように感じる事が報告されている [12]。

## 1.4 物体運動知覚

### 1.4.2 運動視における時間的効果

私たちが運動する物体を見るとき、知覚された視覚情報には矛盾なく物体が動く様子が観察できる。しかし、運動している物体の速度と比較して神経の情報伝達速度がとても遅く、処理に時間がかかるため、例えば飛んでくるボールがある位置に見えたとき、処理の遅れにより、実際のボールはその位置となる。この矛盾を解決するために物体運動知覚の処理過程には、運動速度を時間的に積分して位置の変化量を推定し、現地点で見えている物体の位置と統合する処理があることが考えられる [13]。このことを支持する現象として、運動残効とフラッシュ・ラグ効果という現象がある。

#### 運動残効

運動残効とは、運動を処理するメカニズムが順応した結果、実際には存在しない運動が知覚される現象のことで、同じ方向の運動をしばらく見続けると、その後物理的に静止しているものを見ても、それまで見ていた運動方向とは反対方向に動いて見える錯覚である。

具体例として、図 1.1 に示すように回転する風車図形を見せた後、静止した風車を見せると、運動残効によって風車が運動方向と逆方向へ回転しているように見える [14]。運動残効が位置変化を伴わない場合、風車の矢羽は垂直方向に見えるはずだが、実際の知覚としては、運動して見える方向に傾いているように知覚された。

## 1.4 物体運動知覚

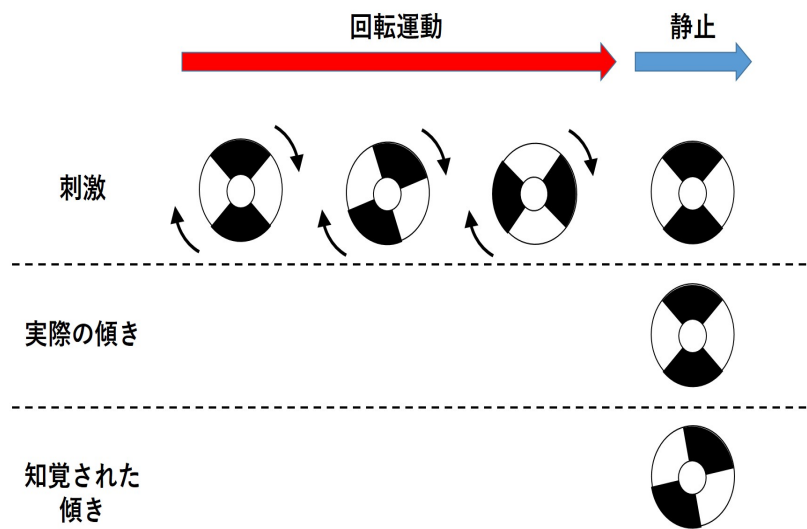


図 1.1 運動残効 [10]

### フラッシュ・ラグ効果

フラッシュ・ラグ効果とは、図 1.2 のように、連続的に運動する刺激とちょうど隣り合う位置に瞬間的にフラッシュ刺激を提示すると、フラッシュの位置と運動する刺激の位置が隣り合うようには見えず、運動する刺激がフラッシュ刺激の位置より運動方向へずれて見える現象のことである。

この現象は、運動刺激の脳内での処理による遅延を空間的に補正するに対し、フラッシュ刺激は提示された位置で知覚するためずれて見えると考えられている [15][16].



## 1.5 研究目的

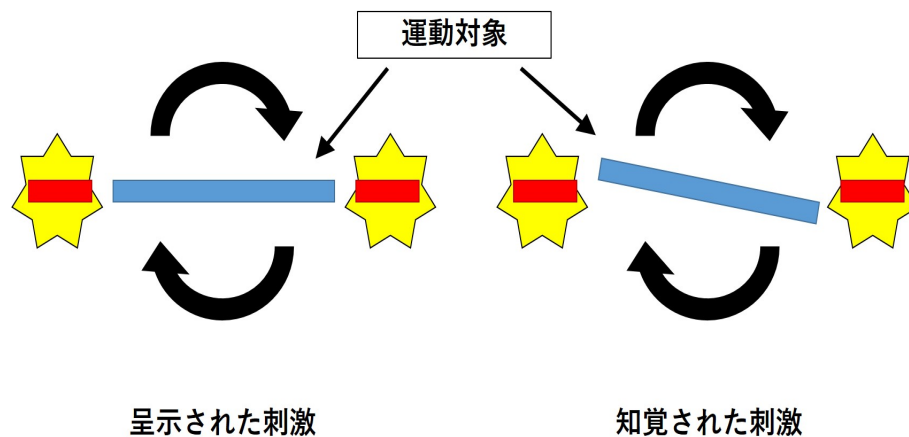


図 1.2 フラッシュ・ラグ効果

## 1.5 研究目的

前述にもあるように空間表象と自己運動の関係性については多くの先行研究があり、自己運動情報が空間表象の更新に影響を与えていることが推測される。しかし、それらの研究の多くは、自己の運動情報による空間表象の更新への影響を検討したもので、視覚の運動情報のみによる空間表象の更新と、視覚の運動情報と自己運動情報による空間表象の更新に分けての検討は行われていない。また、この先行研究の多くは対象の方向や位置関係を回答することや定位することが多い。その場合、呈示される刺激は被験者正面の視野内で呈示されることが多く、対象が直接観察できない場合であっても、対象が被験者正面方向がある状態で、遮蔽物を利用するが暗所にしている。そのため、対象物が自己運動などにより視野外に位置した場合の位置関係の更新についても十分には検討されてない。加えて、自己の運動と視野外に位置する対象物の運動の切り分けについても検討されていない。

そこで本研究では、呈示される視覚情報を同一にし、自己の運動感覚がある場合とない場合とで、視野外の対象へのポインティング課題を行い、自己身体と視野外の対象物の位置関係の更新における自己運動の寄与の特性を検討した。加えて、回転中に対象物が運動することにより、自己運動の成分と物体運動の成分を処理する場合の空間表象の更新についても検討を行った。

## 第 2 章

# 実験環境

### 2.1 実験装置

#### 2.1.1 使用ソフトウェア

視覚刺激の作成および VR 環境の構築には，Unity(Unity 2018.2.10f1 (64-bit)) を使用した。実験結果として得られたデータは，Microsoft Excel 2016 を用いて解析した。各種検定には R 言語 (ver.3.3.2) を用いた。

#### 2.1.2 視覚刺激呈示デバイス

視覚刺激および VR 環境の呈示には，HMD (Oculus VR 社 Oculus Rift) を使用した (図 2.1)。被験者に HMD の装着後に隙間から光が入らないように黒色のスポンジで隙間を埋めるよう指示した。

#### 2.1.3 ポインティング位置取得用入力デバイス

ポインティング課題におけるポインティング位置の測定値の取得には，Oculus Rift と Oculus Rift の専用コントローラ Oculus Touch (図 2.2) を 2 個使用し，人指し指の部分のトリガーボタン押し，ターゲットを原点とした場合の指先の座標を値として取得した。

## 2.1 実験装置



図 2.1 HMD (Oculus VR 社 Oculus Rift)



図 2.2 コントローラ

## 2.1 実験装置

### 2.1.4 IR カメラ

VR 環境における, HMD とコントローラの位置や向きの特ラッキングに用いるデバイスとして, HMD に付属の IR カメラを用いた (図 2.3). トラッキングの仕組みとしては, HMD 側に組み付けられた 44 個の赤外光 LED (IR-LED) を赤外光カメラ (IR カメラ) で検知して, HMD の位置や向き, 傾きを算出すという仕組みである. この IR カメラは, Oculus Rift を単体で使用する場合は 1 つでよいが Oculus Touch を併用する場合, それぞれで 1 つずつ必要であるため, 本実験でも IR カメラを 2 つ使用している.



図 2.3 IR カメラ

## 2.2 実験風景

### 2.2 実験風景

被験者には図 2.4 のように、回転椅子に着座した状態で HMD とコントローラを両手に装着し、ポインティング課題を行ってもらった。被験者の着座した位置は、後述の VR 空間でシミュレートした部屋の中心になる様に設定した。

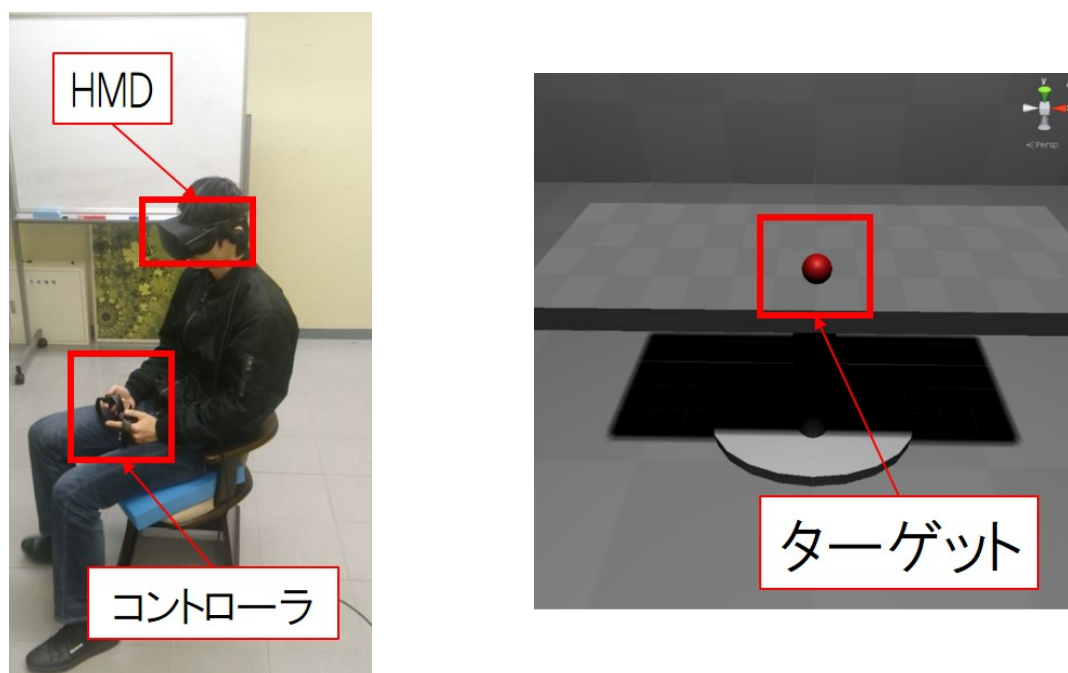


図 2.4 実験風景 (左: 被験者 右: VR 空間 (被験者目線))

## 第 3 章

# 実験方法

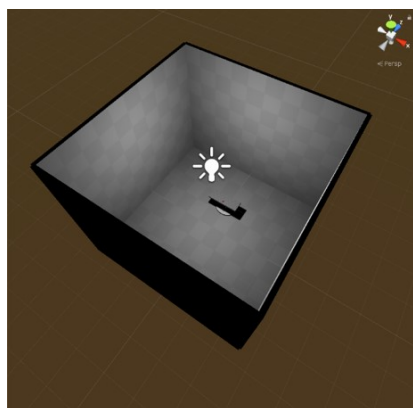
### 3.1 刺激および条件

#### 3.1.1 刺激

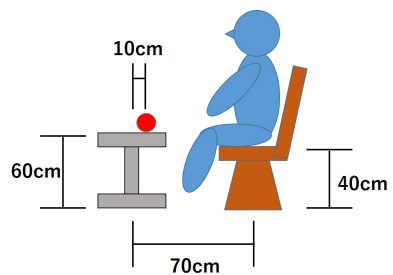
本実験では，呈示する視覚刺激として，シミュレートした 5\*5\*5 m の部屋を用意し，その中にシミュレートした机とポインティング課題用のターゲットを用意した (図 3.1[1])．机の大きさは幅 100 cm 奥行 40 cm 高さ 60 cm とし，被験者が位置する部屋の中心から 70 cm 奥の位置に設定した (図 3.1[2])．ターゲットは直径 5 cm の球体であり，呈示位置は机の中央および中央から左右に 10 cm 離れた位置の計 3 箇所とし (図 3.2)，呈示順序はランダムであった．VR 空間内での運動情報の知覚が行いやすいように部屋と机の上面には先行研究でも用いられているチェッカー柄を採用した [3]．

VR 空間でポインティング課題を行うため実空間の手と連動したシミュレートした手を用意し (図 3.3)，ポインティング課題中は人差し指のみを伸ばした状態で行うように教示した．

### 3.1 刺激および条件



[1]VR 空間



[2] 配置図

図 3.1 VR 空間の呈示刺激

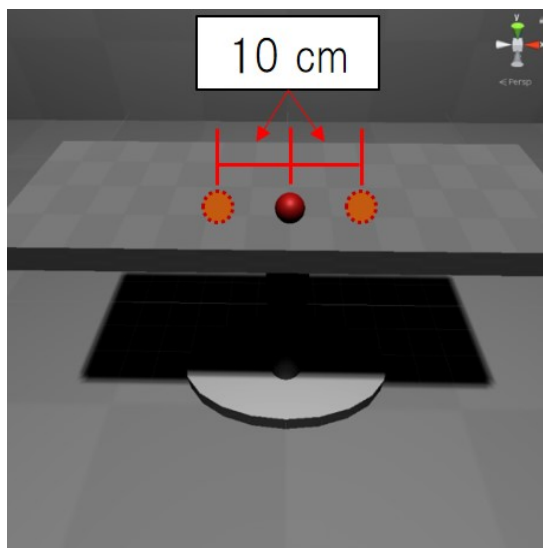


図 3.2 ターゲットの初期位置

### 3.1 刺激および条件

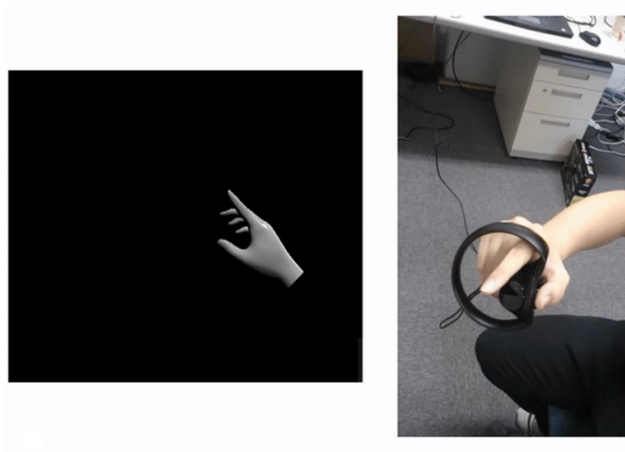


図 3.3 バーチャルな手と実際の手

#### 3.1.2 条件

本実験では、呈示される視覚情報を同一にし、自己の運動感覚がある場合とない場合とで、視野外の対象へのポインティング課題を行うことで、自己身体と視野外の対象物の位置関係の更新における自己運動の寄与の特性を検討するため、自己の回転運動または空間の回転運動によってターゲット位置が視野外に位置する回転条件を設定した。加えて、回転中に対象物が運動することにより、自己運動の成分と物体運動の成分を処理する場合の空間表象の更新についても検討も同時に行うため、ターゲットが静止または移動するターゲット運動条件を設定した。

##### 回転条件

回転条件として、自己の回転運動によってターゲット位置が視野外に外れる Active 条件と空間の回転運動によって視野外に外れる Passive 条件を設定した (図 3.4)。両条件とも回転する角度と速度は左右どちらかに 3 s で  $110^\circ$  回転した。本実験で使用した HMD の視野角は  $110^\circ$  であるため、ターゲット位置が観察できなくなる角度は、本実験でターゲットが視野外に位置するように設定した回転角  $110^\circ$  より小さくても良いが、現実の人の視野角は  $200^\circ$  程であることを考慮し、回転角を設定した。



### 3.1 刺激および条件

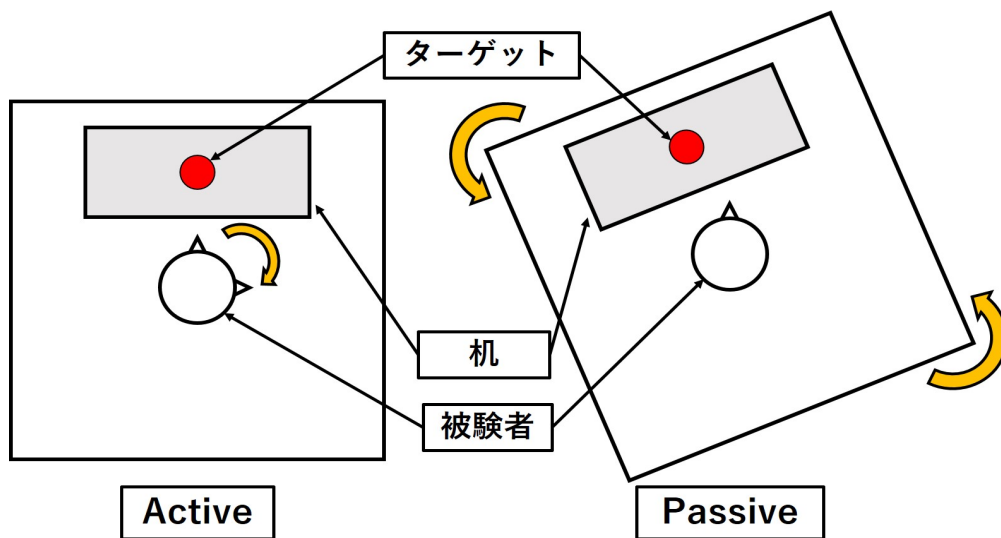


図 3.4 回転条件

#### ターゲット運動条件

ターゲット運動条件として、ポインティングするターゲットが静止している Static 条件とポインティングするターゲットが運動する Dynamic 条件を設定した (図 3.5). Static 条件では、ターゲットが呈示されてから被験者がポインティングするまで静止しているが、Dynamic 条件では自己または空間の回転運動が始まる 3 s 前からターゲットが運動を開始し、回転運動が終了するとターゲットの運動も終了した。そのため、ターゲットは全体で 6 s 運動した。対象の運動方向は回転条件の視覚的自己運動方向と一致しており、5 cm/s の速度で 30 cm 移動した。被験者には、回転運動が終了するとターゲットの運動も終了することとターゲットの運動終了時にターゲットの位置が机の上からは出ないことを教示した。

### 3.2 被験者

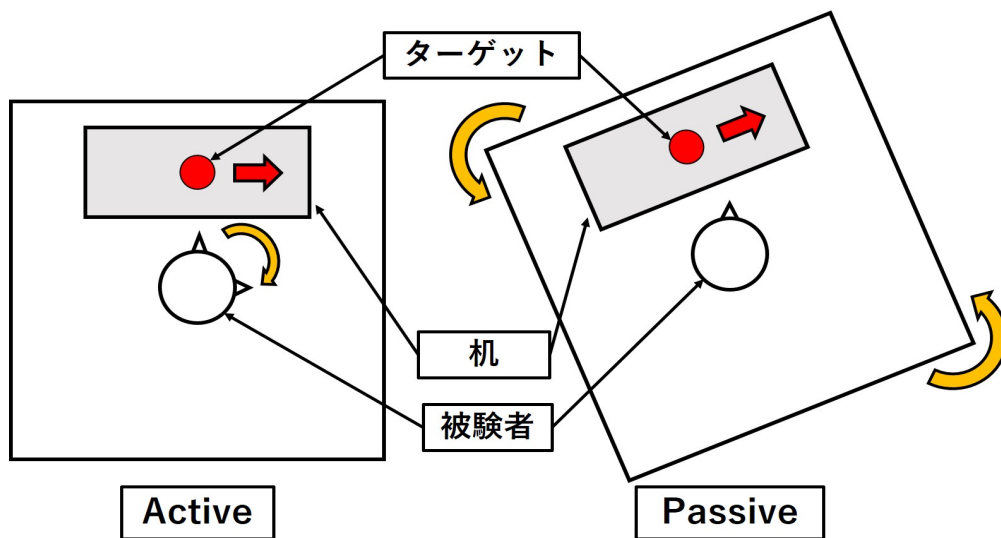


図 3.5 ターゲット運動条件

### 3.2 被験者

被験者は正常な視力 (矯正視力を含む) の 20 代の大学生 10 名 (男性 10 名) で行った。加えて実験に参加した被験者の利き手は全員右利きであった。実験を行うにあたって、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とった。

### 3.3 手続き

最初に、被験者にポインティング課題で用いる指の指定とその試行の回転条件が Active・Passive のどちらであることを教示した (図 3.6)。被験者には条件を確認した後、指定された指とは逆のコントローラの人差し指部分のトリガーを引いた。この手続き以降にもトリガーを引く場面があるが、いずれの場合も指定された指とは逆のコントローラの人差し指部分のトリガーを引くように教示した。トリガーを引くと画面が切り替わり、被験者正面にはシミュレートされた部屋と机、ターゲットが確認できる状態になる。

次に被験者はターゲットにポインティングし、視覚および自己受容感覚によるターゲットの初期位置を確認した (図 3.7)。この時ポインティングが成功しているか分かるようにするため VR ハンドの人差し指部分がターゲットに当たった場合、ターゲットが光る様に設定し

### 3.3 手続き

た。その後被験者は、元の位置に手を戻しトリガーを引いた。トリガーを引くと被験者正面に注視点が表示され、被験者は注視点を固視した。注視点が表示され5秒経つと回転条件がActive条件の場合は注視点が移動を開始するため、注視した状態で体ごと追従し、Passive条件の場合は部屋が回転運動する間、静止している注視点を固視した。

そして、被験者は回転運動が終了した後に視野外に位置するターゲット指し、その状態でトリガーを1回引くことでポインティング位置を決定した(図3.8)。ここまでの手続きを1試行とした。

本実験では、本試行を行う前に各条件と手続きの確認を行う練習試行と被験者が視野外に位置するターゲットをポインティングした場合のポインティング位置とターゲット位置のズレを確認する練習試行を行った。練習試行はあくまで、ポインティング位置とターゲット位置のズレを確認することを目的としているため、ターゲットの位置を身体感覚で学習しないように、確認した状態でポインティング位置を調整しないように教示し、練習試行で行う条件は繰り返しが無いように行った。また、練習試行で使用した条件の組み合わせは、回転条件(Active/Passive)×運動方向(左右)×ターゲット運動条件(Static/Dynamic)×ターゲットの初期位置(3か所)の計24条件の中からターゲットの初期位置は0とし、表3.1の条件の組み合わせを利用した。本試行では前述の24条件について4試行ずつ行ったため、計96試行となった。

### 3.3 手続き



図 3.6 手続き 1: 条件の教示

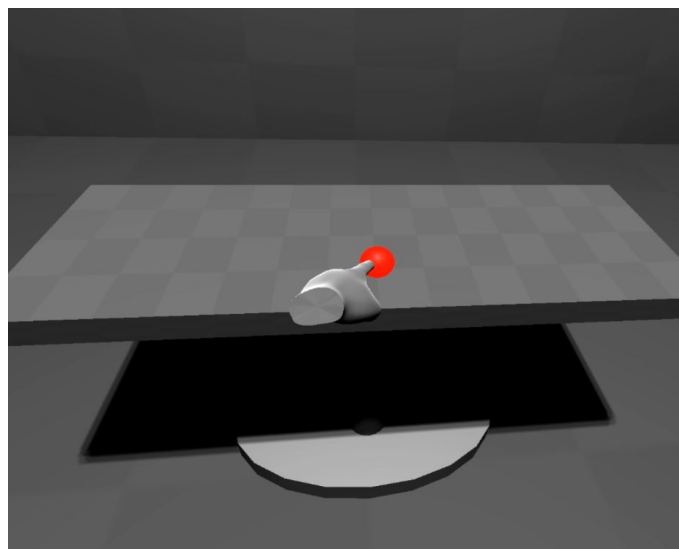


図 3.7 手続き 2: ターゲットの初期位置を確認

### 3.3 手続き

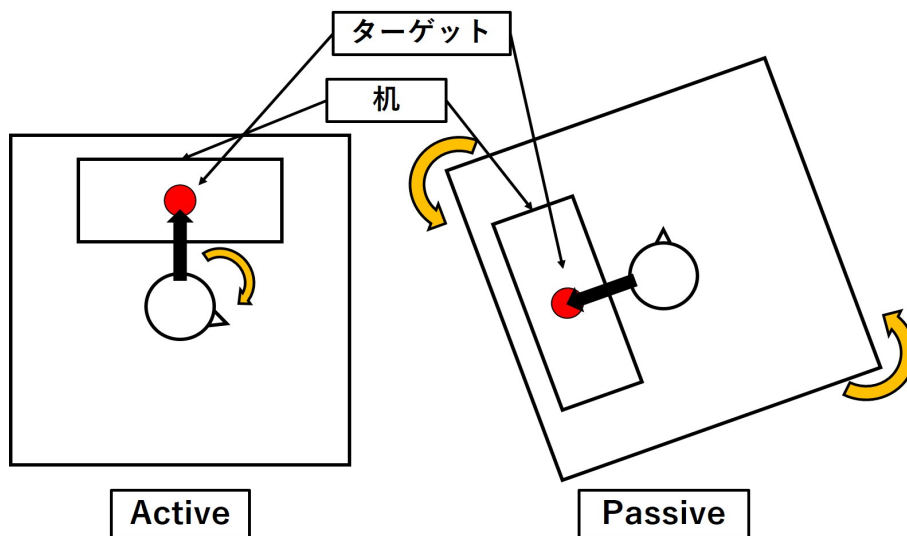


図 3.8 手続き 3: ポインティング位置の決定

表 3.1 練習試行に用いた条件の組み合わせ

呈示順	条件の組み合わせ		
	回転条件	運動方向	ターゲット運動条件
1	active	right	static
2	active	left	static
3	passive	right	static
4	passive	left	static
5	active	right	active
6	active	left	active
7	passive	right	active
8	passive	left	active

## 第 4 章

# 結果

### 4.1 データ解析手順

データの検討にあたり，ターゲットからの相対的なポインティング位置の座標値を X 座標，Z 座標，Y 座標に分けたデータとポインティング位置からターゲット位置までの直線距離のデータを回転条件 (Active・Passive 条件)・ターゲット運動条件 (Static・Dynamic 条件) の 2 要因被験者内分散分析を行った。

この時の X 座標・Z 座標と被験者の位置関係を図 4.1 に示す。回転方向が左右どちらの場合でも，X 座標は値が 0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており，正の値はポインティング位置がシミュレートしたターゲット位置より被験者の正面方向に定位したこと，逆に負の値は背面方向へ定位したことを示している。また，Z 座標は値が 0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており，正の値はポインティング位置がシミュレートしたターゲット位置より被験者の体から離れる方向へ定位したこと，逆に負の値は被験者の体側に定位したことを示している。加えて，Y 座標は値が 0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており，正の値はポインティング位置がシミュレートしたターゲット位置より上方向へ定位したこと，逆に負の値は下方向に定位したことを示している。

## 4.2 視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果

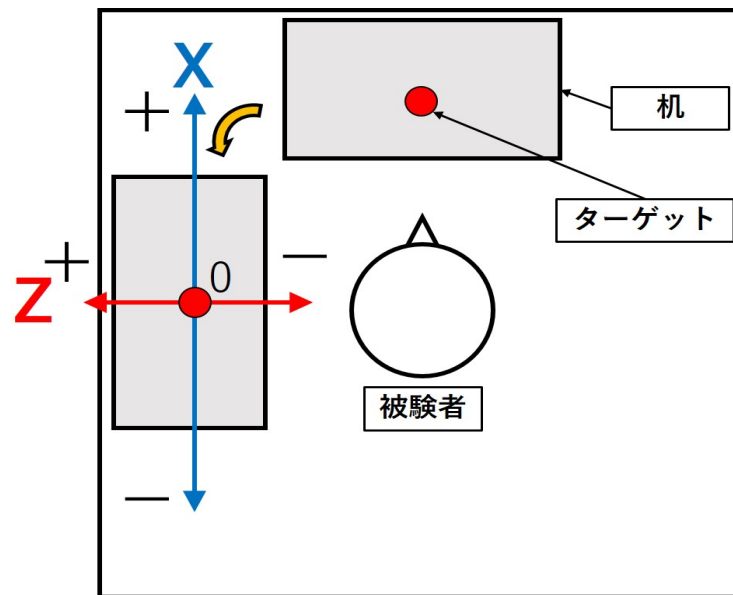


図 4.1 取得する値

## 4.2 視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果

回転条件・ターゲット運動条件の 2 要因 4 条件の場合のターゲットを原点とした場合のポインティングの X 座標・Z 座標の平均値データを下記のグラフに示す。

### 4.2.1 X 座標

条件ごとに、ターゲットを原点としたポインティング位置の X 座標の平均値をプロットしたグラフを図 4.2 に示す。このグラフは縦軸が指先からターゲットまでの X 座標の距離を表したもので、0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており、正の値はターゲット位置をシミュレートした位置より被験者の正面方向に定位したこと、逆に負の値は背面方向へ定位したことを示す。回転条件×ターゲット運動条件の 2 要因被験者内分散分析の結果、どちらの要因においても主効果が認められ ( $F(1,9) = 20.7254, p = .0014, \eta_G^2 = 0.1449$ ・ $F(1,9) = 34.639, p = .0002, \eta_G^2 = 0.1416$ )、交互作用も有意であった ( $F(1,9) = 9.72, p = .0124, \eta_G^2 = 0.0065$ )。Static 条件・Dynamic 条件ともに Passive 条件の方が Active 条件より正面方向に定位した ( $p = .0006; p = .006$ )。また、Active 条件・Passive 条件ともに

#### 4.2 視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果

Dynamic 条件の方が Static 条件より背面方向位に定位した ( $p = .002; p = .0001$ ) .

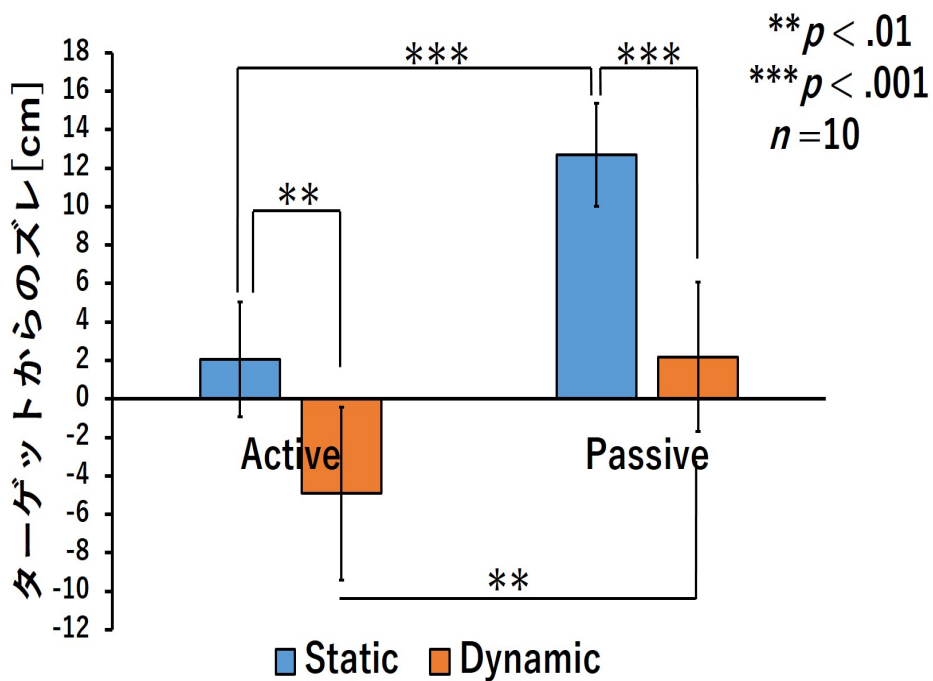


図 4.2 X 座標



## 4.2 視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果

### 4.2.2 Z 座標

条件ごとに、ターゲットを原点としたポインティング位置の Z 座標の平均値をプロットしたグラフを図 4.3 に示す。このグラフは縦軸が指先からターゲットまでの Z 座標の距離を表したもので、0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており、正の値はターゲット位置をシミュレートした位置より被験者の体側に定位したこと、逆に負の値は被験者の体から離れる方向へ定位したことを示している。回転条件×ターゲット運動条件の 2 要因被験者内分散分析の結果、回転条件において主効果が認められ ( $F(1.9) = 6.6916, p = .0294, \eta_G^2 = 0.1098$ ), 2 要因間に交互作用が確認できた ( $F(1.9) = 9.8144, p = .0121, \eta_G^2 = 0.0362$ )。ターゲット運動条件ごとの回転要因の単純主効果の結果 Static 条件において有意な差が見られ ( $p = .0082$ )、Static 条件では Active 条件より Passive 条件の方が被験者から体から離れる方向へのズレが大きかった。

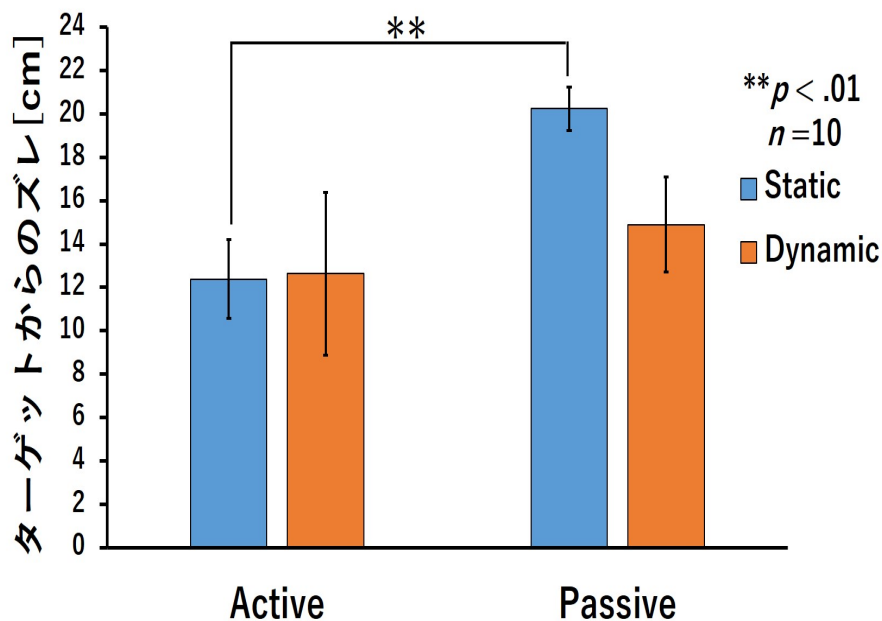


図 4.3 Z 座標

## 4.2 視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果

### 4.2.3 Y 座標

条件ごとに、ターゲットを原点としたポインティング位置の Y 座標の平均値をプロットしたグラフを図 4.4 に示す。このグラフは縦軸が指先からターゲットまでの Y 座標の距離を表したもので、0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており、正の値はターゲット位置をシミュレートした位置より被験者からみて上方向に定位したこと、逆に負の値は被験者から下方向へ定位したことを示している。回転条件×ターゲット運動条件の 2 要因被験者内分散分析の結果、いずれの要因においても主効果は認められなかった。

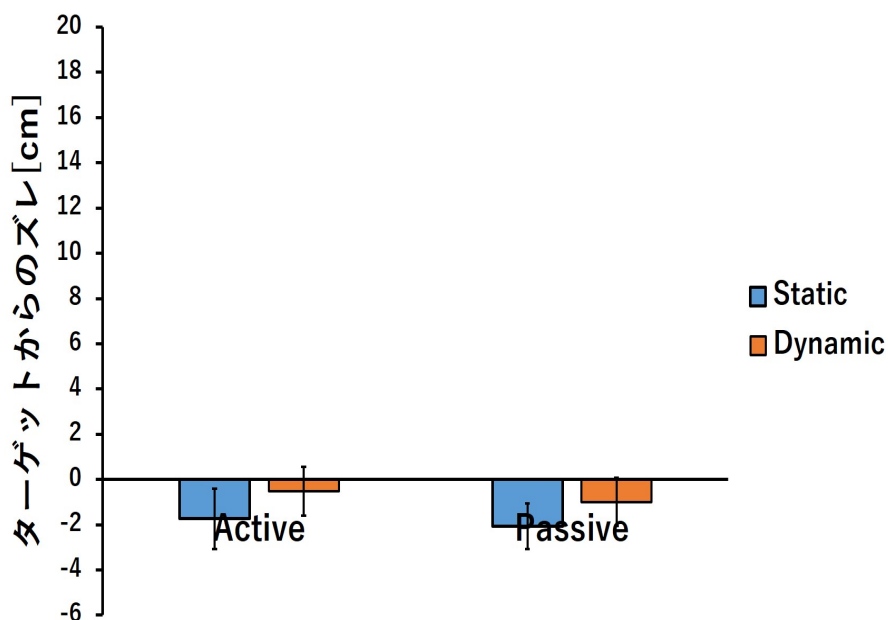


図 4.4 Y 座標

## 4.2 視野外のターゲットに対するポインティング課題の結果

### 4.2.4 ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離

条件ごとに、ポインティング位置からターゲットまでの直線距離の平均値をプロットしたグラフを図 4.5 に示す。このポインティング位置からターゲットまでの直線距離を表したもので、値が 0 の場合ターゲットの位置に一致しており、値が大きくなるとターゲットまでの距離が遠いことを示す。回転条件×ターゲット運動条件の 2 要因被験者内分散分析の結果、どちらの要因においても主効果が認められ ( $F(1,9) = 6.6916, p = .0294, \eta_G^2 = .1098$ ・ $F(1,9) = 34.639, p = .0002, \eta_G^2 = .1416$ )、交互作用も有意であった ( $F(1,9) = 9.8144, p = .0121, \eta_G^2 = .0362$ )。Static 条件において、Passive 条件の方が Active 条件より正面方向に定位した ( $p = .0082$ )。

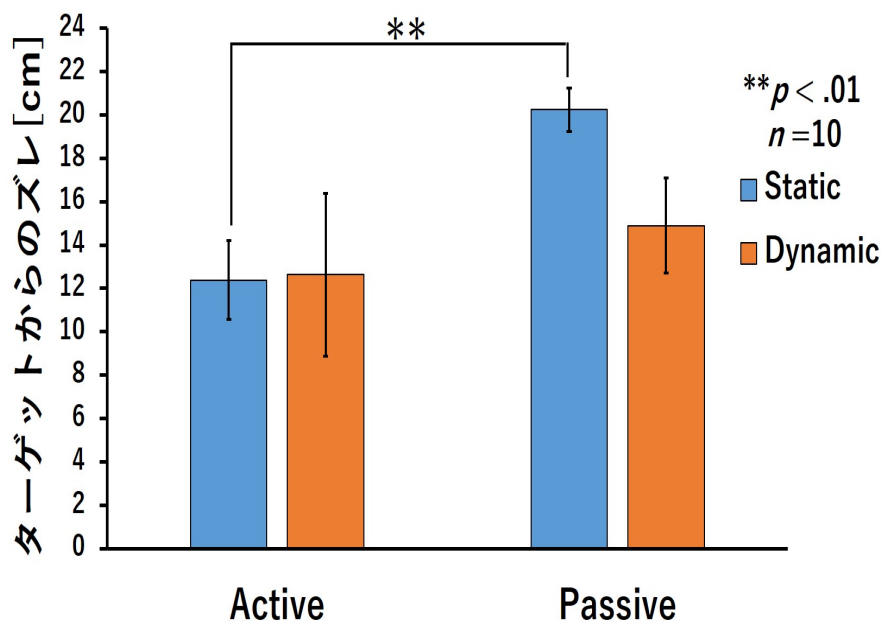


図 4.5 ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離

#### 4.3 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

### 4.3 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

上記では、本実験の目的の検討を行うにあたり、ターゲットからの相対的なポインティング位置の座標値を X 座標, Z 座標, Y 座標に分け、回転条件・ターゲット運動条件の 2 要因被験者内分散分析を行った。しかし、上記の要因以外にも本実験の結果に影響を与えた要因としてターゲットの初期位置による効果とポインティングする際の手が利き手・非利き手 (Dominant Hand・Non-Dominant Hand) にかよる効果が考えられたため、回転条件・ターゲット運動条件の 2 要因 4 条件をさらにターゲットの初期位置と利き手・非利き手にデータを分け、ターゲットの初期位置の要因と利き手・非利き手の要因の効果があるか再度分析を行った。

この分析では、上記にある回転条件・ターゲット運動条件の分析結果と重複する部分があり、また、実験結果への影響が考えられるターゲットの初期位置の要因とポインティングする際の手が利き手・非利き手の要因の効果があるか検討するものであるため、それぞれの要因の効果についてのみ分析結果を記述する。

#### 4.3.1 ターゲットの初期位置

条件ごとに、ターゲットを原点としたポインティング位置の X 座標とポインティング位置からターゲット位置までの直線距離の平均値をプロットしたグラフを図 4.6, 4.7 に示す。

図 4.6 のグラフは縦軸が指先からターゲットまでの X 座標の距離を表したもので、0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており、正の値はターゲット位置をシミュレートした位置より被験者の正面方向に定位したこと、逆に負の値は背面方向へ定位したことを示す。図 4.7 のポインティング位置からターゲットまでの直線距離を表したもので、値が 0 の場合ターゲットの位置に一致しており、値が大きくなるとターゲットまでの距離が遠いことを示している。

図 4.6 のグラフについて、回転条件×ターゲット運動条件×ターゲットの初期位置の 3 要因被験者内分散分析の結果、ターゲットの初期位置の主効果が認められ ( $F(1,9) =$

#### 4.3 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

35.8404,  $p < .0001$ ,  $\eta_G^2 = 0.0602$ ) , Active+Dynamic 条件, Passive+Static 条件, Passive+Dinamic 条件に単純主効果が認められた ( $F(2.18) = 33.1787, p < .0001, \eta_G^2 = .1699 \cdot F(2.18) = 10.8969, p = .0008, \eta_G^2 = .0267 \cdot F(2.18) = 49.3727, p < .0001, \eta_G^2 = .1319$ ) . Active+Dynamic 条件の多重比較の結果, ターゲットの初期位置が -10 cm の場合より, 0 cm, 10 cm の場合がより背面方向へポインティング位置がずれており ( $p = .0307; p = .0001$ ) , 0 cm と 10 cm では 10 cm の場合がより背面方向へ定位した ( $p < .0001$ ) . Passive+Static 条件の多重比較の結果, ターゲットの初期位置が 0 cm, 10 cm の場合より -10 cm の場合がより正面方向へ定位した ( $p = .0016; p = .0033$ ) . Passive+Dinamic 条件の多重比較の結果, ターゲットの初期位置が 10 cm の場合より, 0 cm, -10 cm の場合がより正面方向へ定位しており ( $p = .0001; p < .0001$ ) , 0 cm と -10 cm では -10 cm の場合がより正面方向へ定位した ( $p = .0008$ ) .

図 4.7 のグラフについて, 回転条件×ターゲット運動条件×ターゲットの初期位置の 3 要因被験者内分散分析の結果, ターゲットの初期位置の主効果は認められなかった.

### 4.3 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

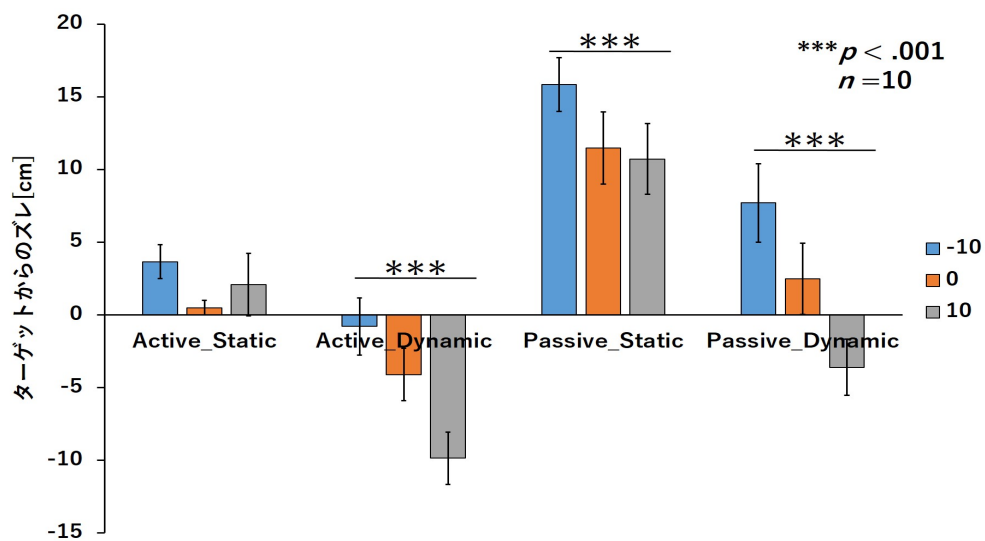


図 4.6 ターゲットの初期位置 (X 座標値)

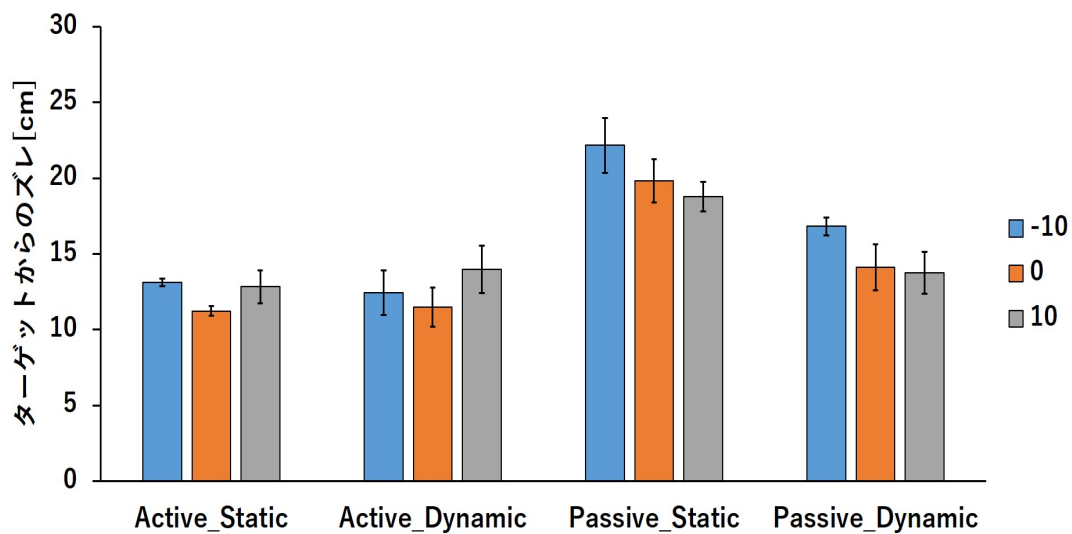


図 4.7 ターゲットの初期位置 (ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離)

## 4.3 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

### 4.3.2 利き手・非利き手

条件ごとに、ターゲットを原点としたポインティング位置の X 座標とポインティング位置からターゲット位置までの直線距離の平均値をプロットしたグラフを図 4.8,4.9 に示す。

図 4.8 のグラフは縦軸が指先からターゲットまでの X 座標の距離を表したもので、0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており、正の値はターゲット位置をシミュレートした位置より被験者の正面方向に定位したこと、逆に負の値は背面方向へ定位したことを示す。図 4.9 のポインティング位置からターゲットまでの直線距離を表したもので、値が 0 の場合ターゲットの位置に一致しており、値が大きくなるとターゲットまでの距離が遠いことを示している。

図 4.8 のグラフについて、回転条件×ターゲット運動条件×利き手・非利き手の 3 要因被験者内分散分析の結果、利き手・非利き手の主効果が認められた ( $F(1,9) = 7.6675, p = .0218, \eta_G^2 = 0.0422$ )。Active+Static 条件では、利き手より非利き手がより正面方向へ定位した ( $p = .0001$ )。Active+Dynamic 条件では、非利き手より利き手がより背面方向へ定位した ( $p = .0001$ )。Passive+Static 条件では、非利き手より利き手がより正面方向へ定位した ( $p = .0001$ )。

図 4.9 のグラフについて、回転条件×ターゲット運動条件×利き手・非利き手の 3 要因被験者内分散分析の結果、利き手・非利き手の主効果は認められなかった。

### 4.3 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

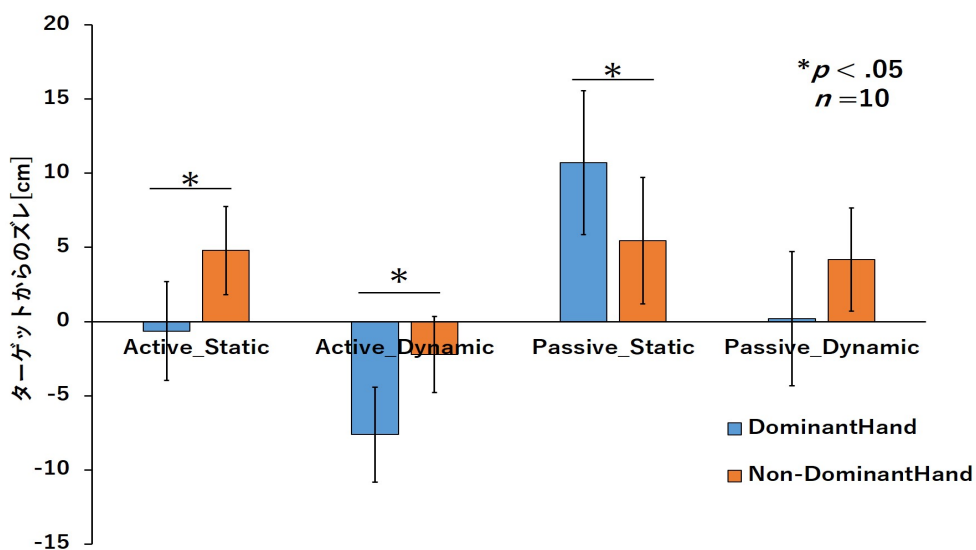


図 4.8 利き手・非利き手 (X 座標値)

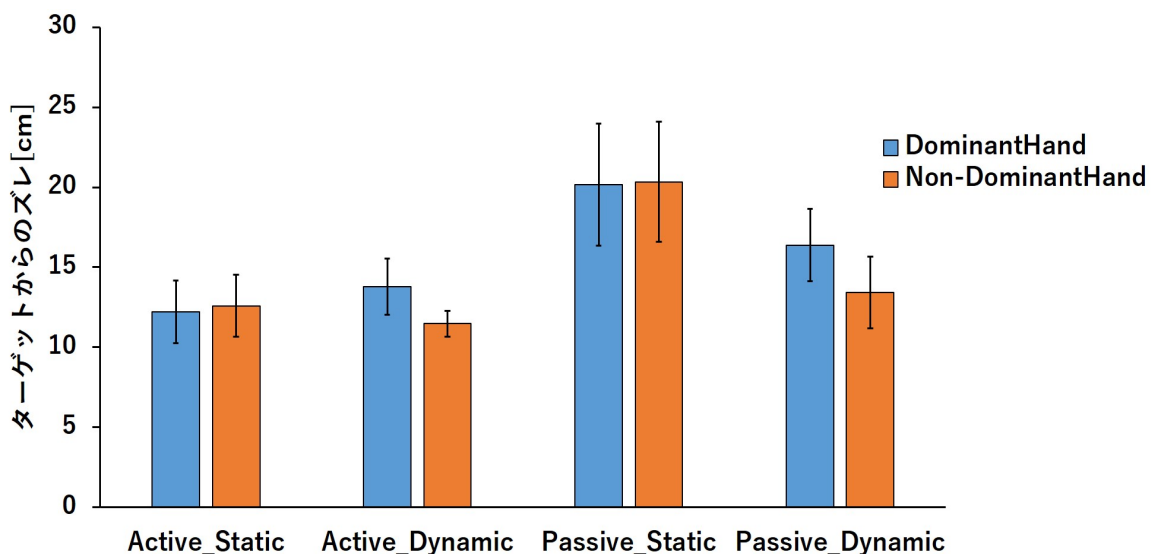


図 4.9 利き手・非利き手 (ポインティング位置からターゲット位置までの直線距離)



# 第 5 章

## 考察

### 5.1 X 座標

図 4.2 から、Static 条件・Dynamic 条件ともに Passive 条件の方が Active 条件より正面方向に定位したことが確認できた。

Active+Static 条件では図 5.1 のように視野外に位置するターゲットの情報が、自己運動によって変化した視覚情報に加え、自己運動によって発生した前庭感覚、体性感覚があることでどの程度回転したかという回転角の評価が比較的正しく行え、自己身体と視野外の対象物の位置関係の空間表象がより正確に更新された可能性が考えられる。それに対し、Passive+Static 条件では、回転の情報が視覚の運動情報のみであるため、ターゲットが視野外に外れた後の回転角が過小評価され、Active+Static 条件よりポインティング位置がターゲット位置より正面方向に大きくずれたと考えられる。

回転角の過小評価については、身体回転を伴う対象物へのポインティング課題を行った結果、回転角度の大きさによらず、左端ターゲットは右方向に、右端ターゲットは左方向にずれた位置にポイントされる結果となり、ポイントの対象領域に関する記憶表現が全体的に水平方向に収縮したことが報告 [17] されていることから、視野外に位置する空間（図 5.1 の黄色範囲）の情報が水平方向に圧縮された結果であることが推測される。

## 5.1 X 座標

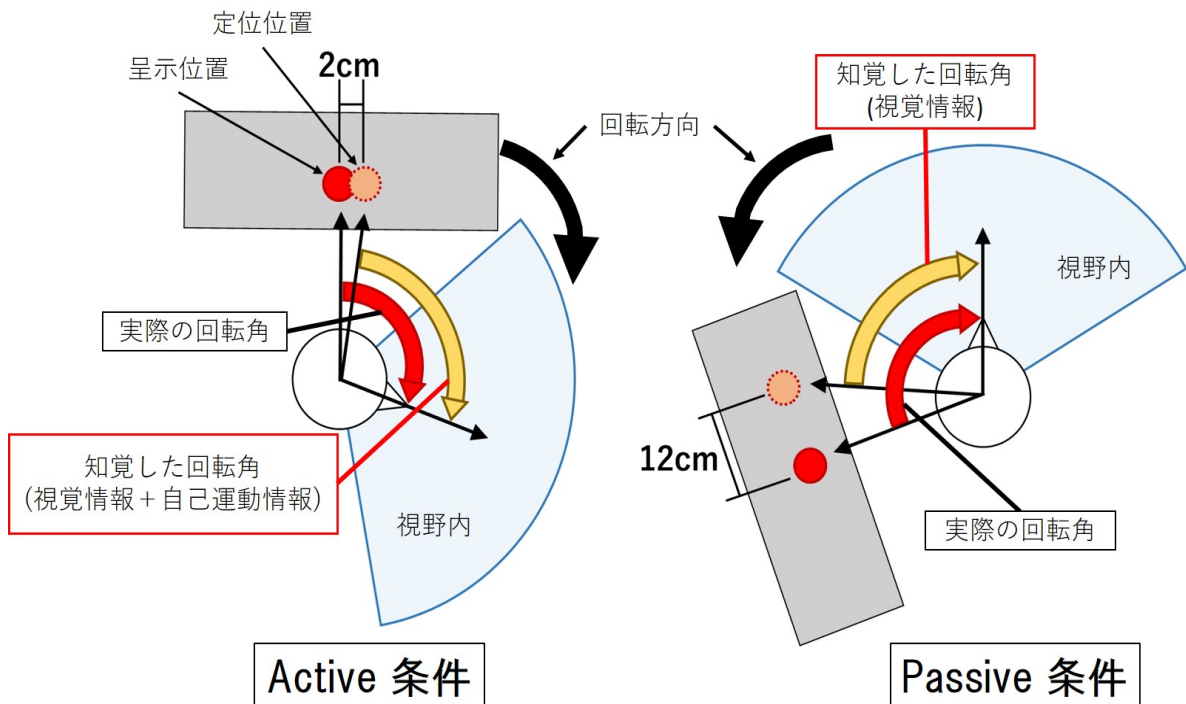


図 5.1 Static 条件と Passive 条件の回転角の評価

また図 4.2 から、Active 条件・Passive 条件ともに Dynamic 条件の方が Static 条件より背面方向位に定位したことが確認できた。Active+Dynamic 条件と Passive+Dynamic 条件の結果は、ターゲットの運動量の過小評価による可能性が考えられる。

図 5.2 は Static 条件において判断したターゲットの知覚位置を基準とし、Dynamic 条件でのターゲットの運動量の評価を表した図で、Active 条件の場合、Static 条件で定位した位置より 23 cm ターゲットの運動方向へずれた位置を定位し、Passive 条件の場合、20 cm ずれた位置を定位しており、両条件とも実際のターゲットの運動量である 30 cm より過小に評価した。

## 5.1 X 座標

Active 条件は、自己の運動により回転した方向へターゲットも運動したことで、網膜像としての速度が回転していない場合よりも遅くなり、ターゲットの運動量が過小評価された可能性がある。これは、運動の空間的対比の先行研究で報告された、運動ターゲットの見かけの速度が、同じ方向の背景運動により運動速度が低下したように感じた [12] という結果と同様の影響が、視野外に位置するターゲットに対しても生じた可能性が考えられる。Passive 条件も呈示される視覚情報が Active 条件と同一であるため、同様の網膜像の速度低下により、ターゲットの運動量が過小評価された可能性がある。そのため、Dynamic 条件では Static 条件より背面方向へ定位し、Passive+Dynamic 条件では Passive+Static 条件より相対的に値が小さくなり、結果的にターゲットからのズレの値が小さくなったと考えられる。

## 5.1 X 座標

ターゲットの運動量の過小評価については、物体の運動途中で板により遮蔽し、遮蔽された物体の運動を見越した移動距離を回答させた結果、実際の運動量より小さく見越すことが報告されており [18]、同様の効果を報告した研究も多いことから [19][20]、本実験の場合でも自己運動や空間運動によって視野外に運動する対象物が位置することで、対象物が遮蔽された場合と同じ効果が生じたことが考えられる。

加えて、Static 条件と Dynamic 条件の値の差分を検討した結果 (図 5.4[1])、Active 条件と Passive 条件間に有意差が認められ、Passive 条件より Active 条件の方が値が小さいことが確認できた (図 5.4[2])。これは、Dynamic 条件においても Static 条件と同じように自己運動があることで、自己運動の成分から視野外で移動する物体の運動の成分の評価が行えるため、自己運動の成分がない Passive 条件より正確に評価を行うことができ、Active 条件の Static 条件と Dynamic 条件の値の差分が Passive 条件より小さくなったと考えられる。

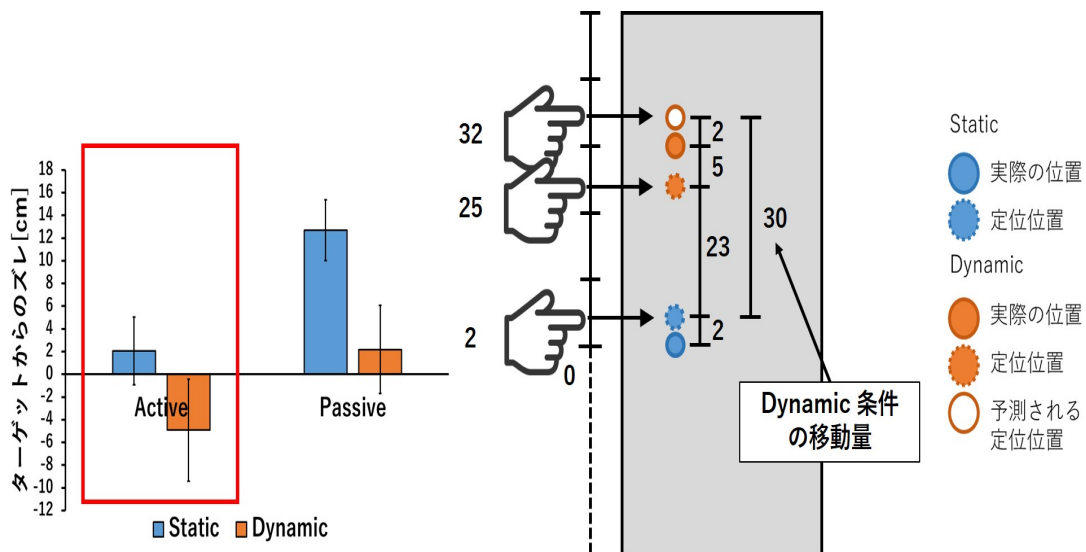


図 5.2 Active 条件における Static 条件・Dynamic 条件の定位位置の絶対値 (X 座標)

5.1 X 座標

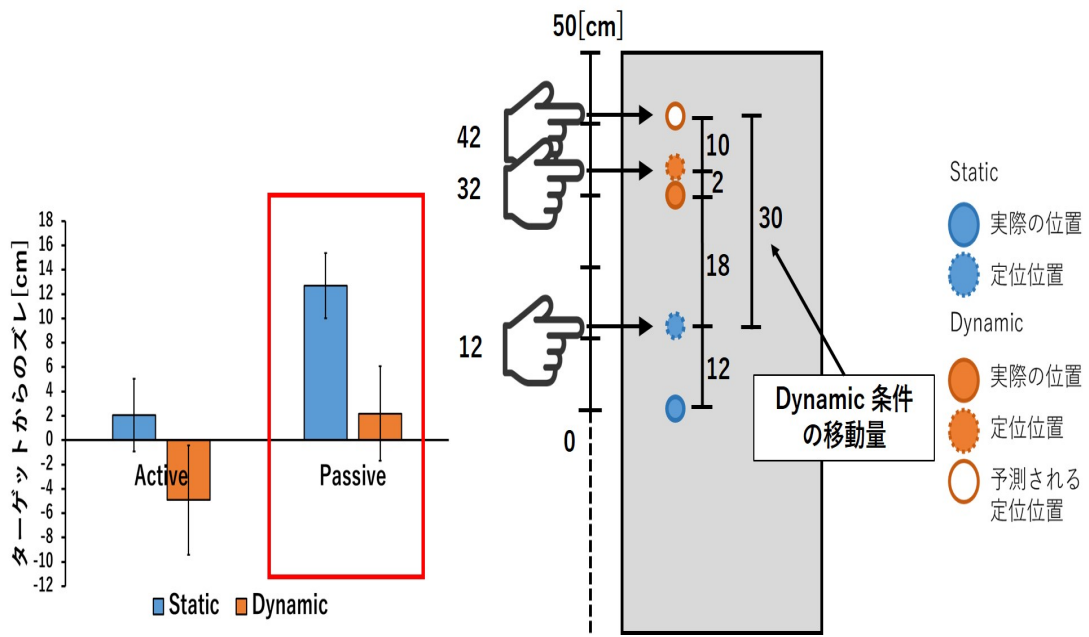


図 5.3 Passive 条件における Static 条件・Dynamic 条件の定位位置の絶対値 (X 座標)

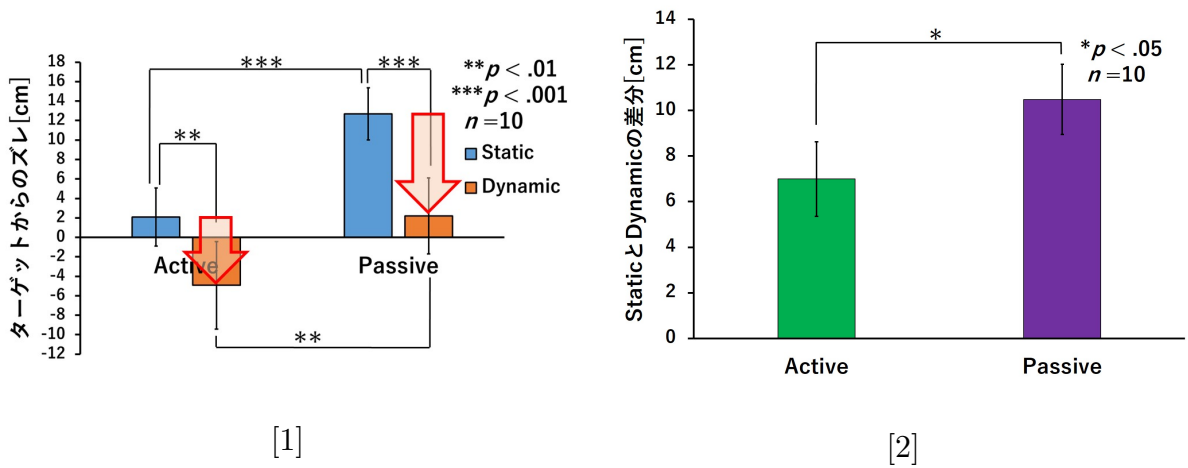


図 5.4 Static 条件・Dynamic 条件の差分

## 5.2 Z 座標

図 4.3 から、Static 条件では Active 条件より Passive 条件の方が被験者の体から離れる方向へのズレが大きいことが確認できた。Z 座標値の Static 条件においては自己運動の有無によって、Active 条件と Passive 条件の間に X 座標値と同様に自己運動の有無による影響があることが示唆された。

Dynamic 条件についてはいずれの条件間にも有意差は認められていない。これは、対象物の奥行方向の運動に関するパラメータの操作は行っていないため、条件間に差が表れなかったことが考えられる。また、有意差の認められた条件を含めたすべての条件において、ターゲットからのズレが被験者の体から離れる方向へ大きくずれていることから、図 5.5 の黄色線のように Z 軸方向へ伸張した空間表象の形成が行われたことが考えられる。加えて、有意差はないものの Passive+Static 条件と Passive+Dynamic 条件間に、X 座標値でみられたターゲット運動量の過小評価の傾向が確認できた。これは、前述の X 座標値の考察（図 5.4[2]）から Passive 条件の方が Active 条件に比べターゲット運動量の過小評価の度合いが大きいことが示唆されたことから、X 座標値で確認されたターゲット運動量の過小評価により、Z 座標値の Passive+Static 条件と Passive+Dynamic 条件の間に差が確認できたことが推測される。

### 5.3 Y 座標

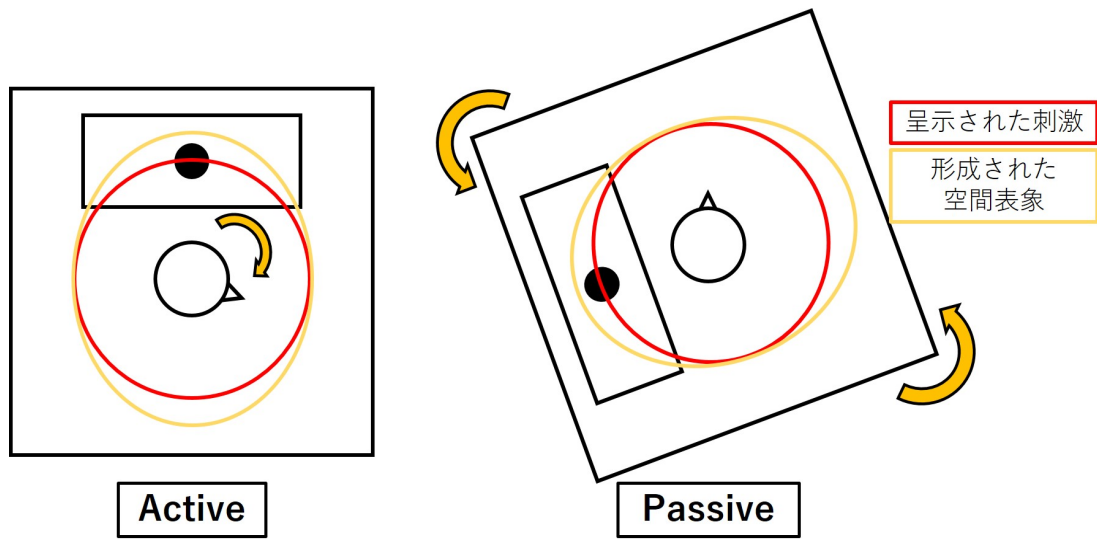


図 5.5 呈示された刺激と形成された空間表象

### 5.3 Y 座標

Y 座標の値については、いずれの要因においても主効果が認められておらず、平均値としても 0 cm 付近であるため、ターゲットの高さについてはをほぼ正しく判断出来ていることが考えられる。これは条件として垂直方向の操作は行っていおらず、毎試行、視覚と自己受容感覚によるターゲットの初期位置の確認を行った後課題に取り組んだためだと考えられる。

### 5.4 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

#### 5.4.1 ターゲットの初期位置

ターゲットを原点としたポインティング位置の X 座標 (図 4.6) を確認するとターゲットの初期位置によりズレの値が有意に変化していることが確認できるが、変化の傾向としては、Active+Dynamic 条件ではいずれの初期位置も背面方向へ定位、Passive+Static 条件ではいずれの初期位置も正面方向へ定位、Passive+Dynamic 条件では 10 cm 以外の初期位置が正面方向へ定位しているというように、どの条件内でもターゲットの初期位置ごとの

## 5.4 ターゲットの初期位置と利き手・非利き手の効果

値は同様の傾向を示している。また、ターゲット位置までの直線距離 (図 4.7) でターゲットの初期位置による効果を確認するとどの条件でもそれぞれ初期位置の有意差は認められていない。このことから、ターゲットの初期位置が本実験の結果に何らかの影響を与えた可能性は低いことが考えられる。

### 5.4.2 利き手・非利き手

利き手・非利き手に関する先行研究では、単純な反応時間では利き手・非利き手に差がないことが報告されているが [21]、運動する課題においては利き手の方が非利き手より成績が良く [22][23][24]、優位になることが多いことが報告されているため、本実験においても利き手によるポインティングのほうがターゲットからの誤差が小さくなることが予測される。

しかし、ターゲットを原点としたポインティング位置の X 座標図 4.8 を確認すると利き手・非利き手によりズレの値が有意に変化している条件が確認できるが、有意差の傾向に法則性が見られず、すべての条件において誤差線が大きく個人差が大きいことが確認できる。また、ターゲット位置までの直線距離 (図 4.9) で利き手・非利き手による効果を確認するといずれ条件でもそれぞれ利き手・非利き手の有意差は認められていない。このことから、空間表象の更新において自己の運動感覚情報は重要な手がかりとなるが、利き手・非利き手による運動精度が空間表象の更新にとって重要な要因となる可能性は低いことが考えられる。



## 第 6 章

# 補足実験

本実験の結果，両回転条件の Dynamic 条件において，自己の運動により回転した方向へターゲットも運動したことで，網膜像としての速度が回転していない場合よりも遅くなり，ターゲットの運動量が過小評価された可能性がある．そのことから，ターゲットの運動方向が自己の運動により回転した方向とは逆方向へ運動した場合は，網膜像としての速度が回転していない場合よりも速くなり，ターゲットの運動量が過大評価されることが推測される．また運動の空間的対比の先行研究で，運動ターゲットの見かけの速度が，逆方向の背景運動により運動速度が上昇したように感じたという結果と同様の影響が，視野外のターゲットに対しても生じる可能性が考えられる [12]．そこで補足実験として，ターゲットの運動方向が回転方向と一致している条件 (congruent 条件) とターゲットの運動方向が回転方向と不一致の条件 (incongruent 条件) とで，本実験と同様に呈示される視覚情報を同一にし，自己の運動感覚がある場合とない場合でポインティング課題を行い，ターゲットの運動方向による運動量の評価について検討した．

## 6.1 刺激および条件

### 6.1 刺激および条件

#### 6.1.1 視覚刺激

補足実験で呈示する視覚刺激は、本実験で使用した同じ刺激を呈示した。ただし、ターゲットの初期位置については本実験の位置と同じ場合、incongruent 条件において、身体的にポインティング動作が困難になるため、補足実験では図 6.1 のように incongruent 条件の呈示位置は、机の中央から被験者の正面方向に 10 cm, 20 cm, 30 cm の位置とし、congruent 条件の呈示位置は机の中央から被験者の背面方向に 10 cm, 20 cm, 30 cm の位置に設定し、それぞれランダムな順で呈示した。

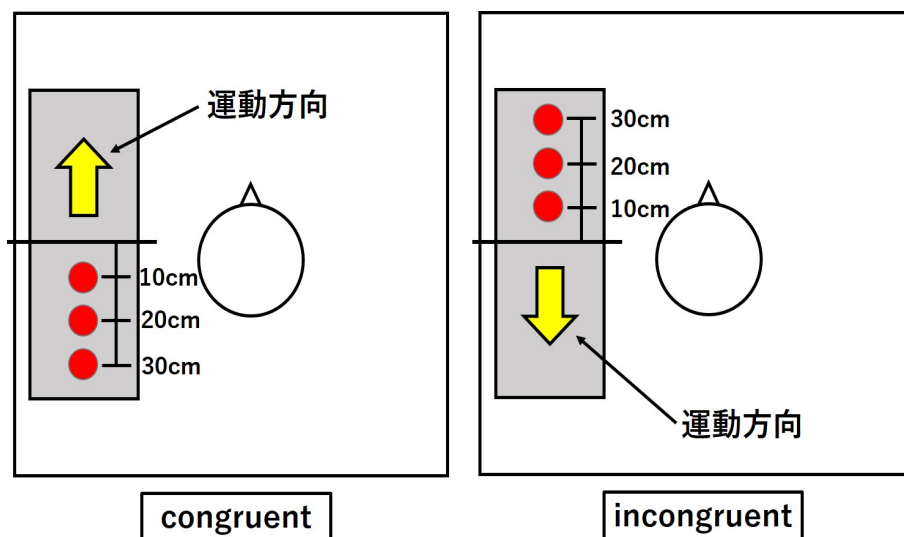


図 6.1 ターゲットの初期位置 (補足実験)

## 6.2 被験者

### 6.1.2 呈示条件

#### 回転条件

補足実験では、ターゲットの運動方向について検討を行うため、本実験と同様の回転条件を使用し、角速度や回転角も同じとした。

#### ターゲット運動方向条件

ターゲット運動方向条件として、ポインティングするターゲットの運動方向が回転方向と一致している congruent 条件とターゲットの運動方向が回転方向と不一致の incongruent 条件を設定した。congruent 条件では上記にもあるように被験者背面方向の初期位置から正面方向へターゲットが運動し、incongruent 条件では被験者正面方向の初期位置から背面方向へターゲットが運動した。

両条件とも本実験の Dynamic 条件と同じように回転運動が始まる 3 秒前からターゲットが運動を開始し、回転運動が終了するとターゲットの運動も終了するように設定し、移動時間、速度も同じとした。被験者には、回転運動が終了するとターゲットの運動も終了することとターゲットの運動終了時どの条件であってもターゲットの位置は机の上からは出ないことを教示した。

## 6.2 被験者

被験者は本実験とは別の人に参加してもらい、正常な視力 (矯正視力を含む) の 20 代の大学生 10 名 (男性 10 名) で行った。加えて実験に参加した被験者の利き手は全員右利きであった。実験を行うにあたって、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とった。

## 6.3 手続き

### 6.3 手続き

補足実験の手続きは、本実験と同じように行い、練習試行についても、本試行を行う前に各条件と手続きの確認を行う練習試行と被験者が視野外に位置するターゲットをポインティングした場合のポインティング位置とターゲット位置のズレを確認する練習試行を行った。また、練習試行で使用した条件の組み合わせは、回転条件（Active/Passive）×運動方向（左右）×ターゲット運動方向条件（congruent/incongruent）×ターゲットの初期位置（3か所）の計24条件の中からターゲットの初期位置は20cmとし、表6.1の条件の組み合わせを利用した。本試行では前述の24条件について4試行ずつ行ったため、計96試行となった。

表 6.1 練習試行に用いた条件の組み合わせ（補足実験）

呈示順	条件の組み合わせ		
	回転条件	運動方向	ターゲット運動方向条件
1	active	right	congruent
2	active	left	congruent
3	passive	right	congruent
4	passive	left	congruent
5	active	right	incongruent
6	active	left	incongruent
7	passive	right	incongruent
8	passive	left	incongruent

## 6.4 結果

補足実験は、本実験の図 4.2 のグラフでみられた、ターゲットの運動量が過小評価について、運動方向を逆方向にすることで運動量の過大評価が起きるか検討した実験であるため、ターゲットからの相対的なポインティング位置の X 座標値に対し、回転条件 (Active・Passive 条件)・ターゲット運動条件 (Static・Dynamic 条件) の 2 要因被験者内分散分析を行った。この時の X 座標と被験者の位置関係と取得する値は本実験と同様であった。

### 6.4.1 X 座標

条件ごとに、ターゲットを原点としたポインティング位置の X 座標の平均値をプロットしたグラフを図 6.2 に示す。このグラフは縦軸が指先からターゲットまでの X 座標の距離を表したもので、0 の場合指先とターゲットの位置に一致しており、正の値はターゲット位置をシミュレートした位置より被験者の正面方向に定位したこと、逆に負の値は背面方向へ定位したことを示す。回転条件×ターゲット運動条件の 2 要因被験者内分散分析の結果、回転条件の主効果が認められ ( $F(1.9) = 18.9, p = .002, \eta_G^2 = 0.22$ )、交互作用も有意であった ( $F(1.9) = 7.86, p = .02, \eta_G^2 = 0.0096$ )。Active のターゲット運動条件より Passive のターゲット運動条件の定位位置が正面方向に定位した ( $p = .006; p = .001$ )。Passive の congruent 条件より incongruent 条件の方が正面方向に定位した ( $p = .065$ )。

## 6.5 考察

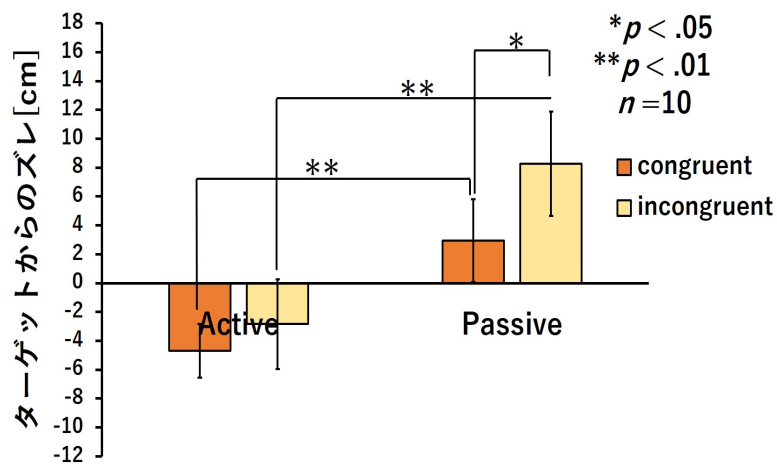


図 6.2 X 座標 (補足実験)

## 6.5 考察

### 6.5.1 X 座標

図 6.2 のグラフの congruent 条件と図 4.2 の Dynamic 条件を比べるとほとんど同じ値であることが確認できる (図 6.3) . これは補足実験で設定した congruent 条件は, 本実験の Dynamic 条件と同じ条件であるため, 定位位置が近くなったことが予測される. そのことから, 補足実験における初期位置の定位も本実験の Static 条件の定位位置と同様の傾向があると仮定した場合, incongruent 条件においてターゲットの運動量が過大評価された可能性が考えられる.

図 6.4,6.5 は本実験の Static 条件において判断したターゲットの知覚位置を基準とし, incongruent 条件でのターゲットの運動量の評価を表した図で, Active 条件の場合, Static 条件で定位した位置より 34 cm ターゲットの運動方向へずれた位置を定位し, Passive 条件の場合, 34 cm ずれた位置を定位しており, 両条件とも実際のターゲットの運動量である 30 cm より過大に評価した.

Active 条件は, 自己の運動により回転した方向へターゲットも運動したことで, 網膜像としての速度が回転していない場合よりも速くなり, 仮説通りターゲットの運動量が過大評

6.5 考察

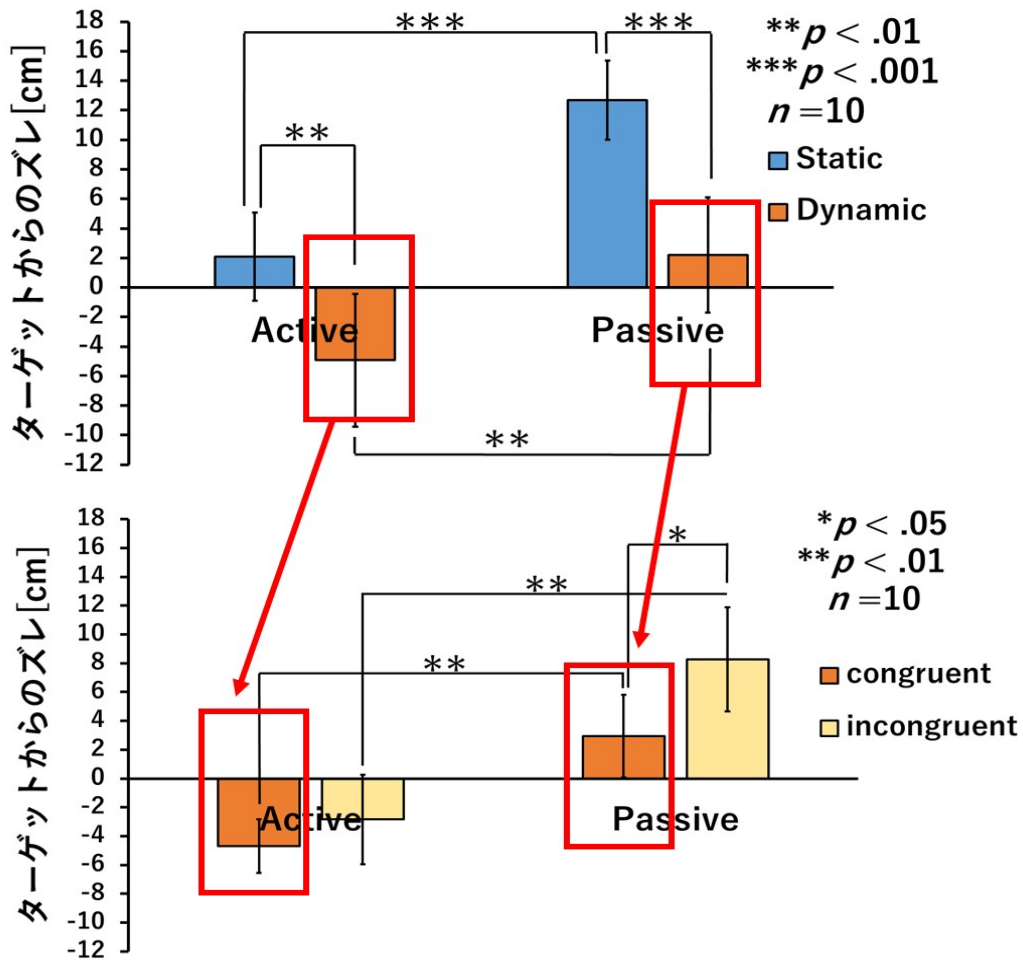


図 6.3 本実験と補足実験の X 座標値のグラフの比較

働かれた可能性がある。Passive 条件も呈示される視覚情報が Active 条件と同一であるため、同様の網膜像の速度上昇により、ターゲットの運動量が過大評価された可能性がある。これは、仮説でも述べたように、本実験と同様に運動の空間的対比による影響があり、運動ターゲットの見かけの速度が、逆方向の背景運動により運動速度が上昇したように感じたという結果と同様の影響が、視野外のターゲットに対しても生じた可能性が考えられる [12].

6.5 考察

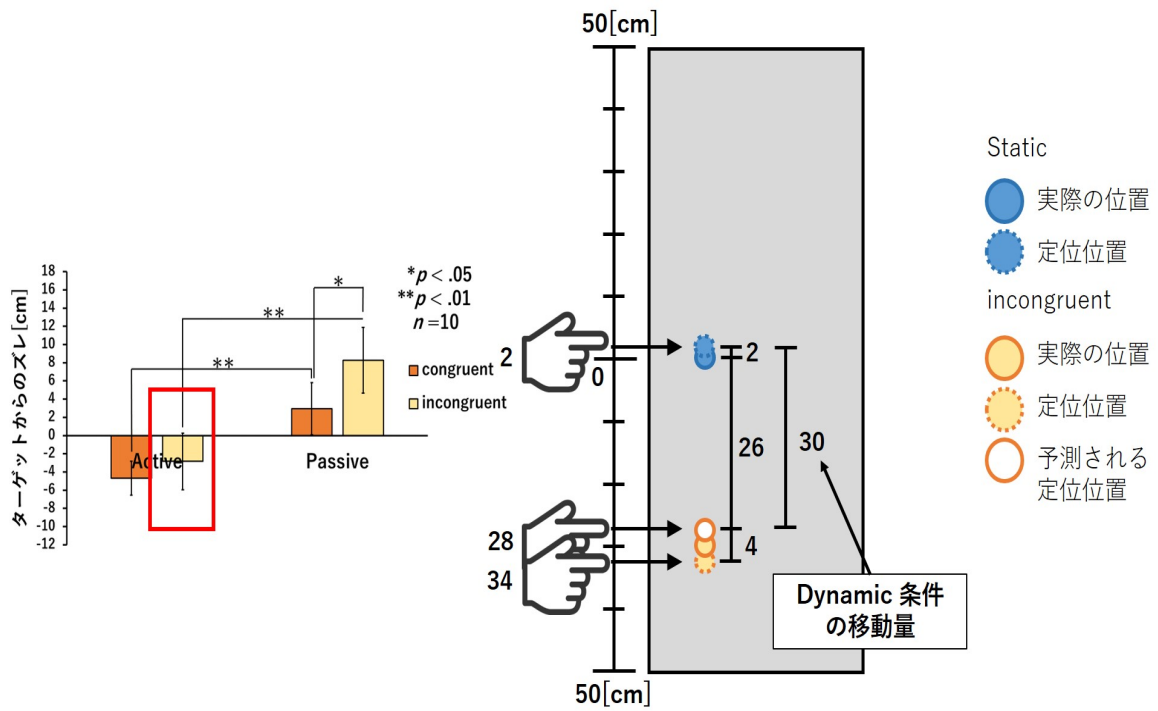


図 6.4 Active 条件における本実験の Static 条件・incongruent 条件の定位位置の絶対値 (X 座標)

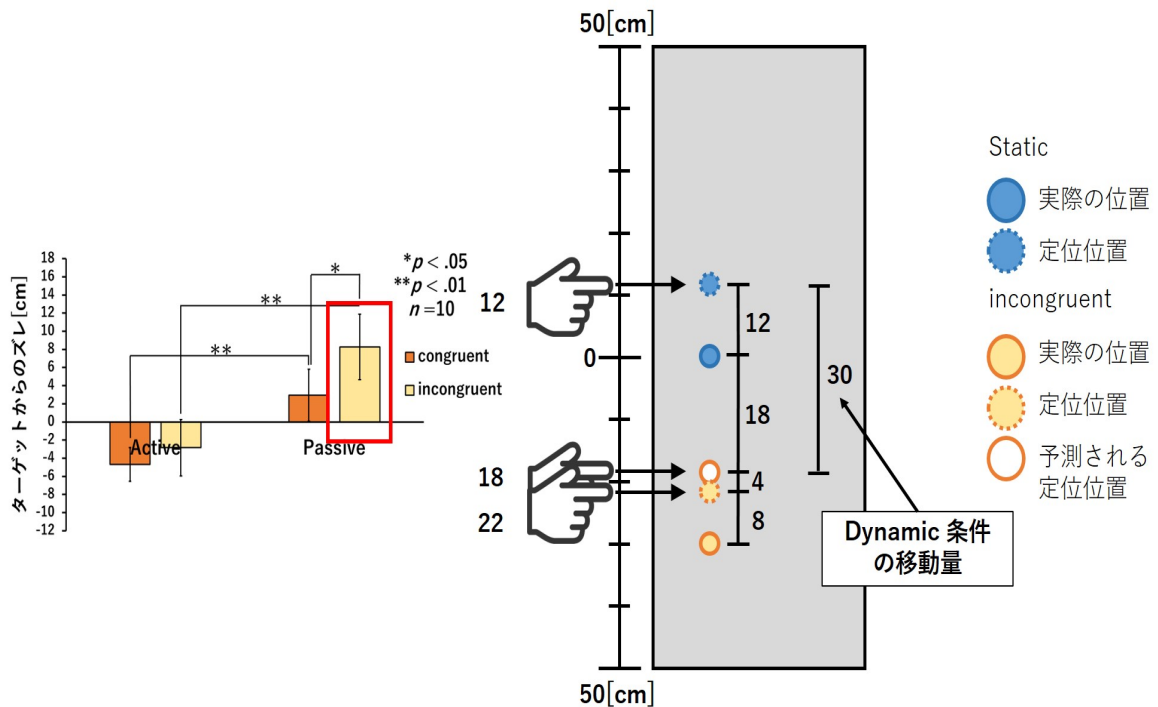


図 6.5 Passive 条件における本実験の Static 条件・incongruent 条件の定位位置の絶対値 (X 座標)



## 第7章

### まとめ

本研究では，呈示される視覚情報を同一にした上で，自己の運動感覚がある場合とない場合のポインティング課題を行い，自己身体と視野外の対象物の位置関係の更新における自己運動の寄与の特性を検討した．加えて，対象物が移動し，自己運動の成分と物体運動の成分が存在する場合の検討も行った．

実験の結果，視覚情報に加え自己の運動感覚がある場合，対象物の位置が視野外となり直接観察できない状態であっても，前庭感覚や体性感覚による情報から対象物の位置を推測することで，空間表象をより正確に更新できることが示唆された．また対象物が移動し，網膜像の速度が低下する場合，自己の運動感覚の有無に関わらず，物体の運動量を過小評価することが示され，網膜像の速度が上昇する場合，物体の運動量を過小評価することが示された．

# 謝辞

本研究を進めるにあたり，ご指導を頂いた繁榊博昭准教授に感謝致します。また，副査を引き受けてくださった篠森敬三先生，福本昌弘先生にも深謝致します。そして，実験に協力していただいた先輩方や被験者に感謝します。

## 参考文献

- [1] Ranxiao Frances Wang, Daniel J. Simons, "Active and passive scene recognition across views" *Cognition*, 70, pp. 191-210, 1999.
- [2] 大津嘉代子, "経路統合を通じた空間学習課題における身体内情報の役割", *日本認知科学学会学会誌*, 15(1), pp.120-133, 2008.
- [3] 茅原拓朗, 小木哲朗, 北崎充晃, 吉野知也, 廣瀬通孝, "マルチメディア・バーチャル・ラボラトリーによる遠隔知覚・認知心理学実験システム", *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.8, No.1, pp.57-64, 2003.
- [4] Slutsky, Daniel A, and Recanzone, Gregg H, "Temporal and spatial dependency of the ventriloquism effect." *Neuroreport* 12.1, pp. 7-10, 2001.
- [5] Botvinick, M., Cohen, J., "Rubber hands "feel" touch that eyes see", *Nature*, 391, p.756, 1998
- [6] Fischer, M.H., Kornmüller, A.E., "Optokinetic ausgeloste Bewegungswahrnehmungen und opto-kinetischer Nystagmus", *Journal für Psychologie und Neurologie (Leipzig)*, Vol.41, pp.273-308, 1930.
- [7] Stephen M. Kosslyn, Thomas M. Ball, and Reiser, Brian, "Visual images preserve metric spatial information: evidence from studies of image scanning.", *Journal of experimental psychology: Human perception and performance* 4.1, p.47, 1978.
- [8] Shigeno, Sumi, Oyama, Tadasu, "Localization of speech and non-speech sounds.", *Japanese Psychological Research* 25.2, pp.112-117, 1983.
- [9] K. Duncker, "Über induzierte Bewegung", *Psychologische Forschung*, 12, pp.180-259, 1929.
- [10] J. M. Loomis, K. Nakayama, "A Velocity Analogue of Brightness Contrast", *Perception*, 2, pp.425-428, 1973.

## 参考文献

- [11] S. M. Anstis, "Motion perception in the frontal plane" In Handbook of Perception and Human Performance, Vol. 1, sensory Processes and Perception, John Wiley and Sons, New York , pp.16.1-16.27, 1986.
- [12] P. Tynan, R. Sekuler, "Simultaneous motion contrast: velocity, sensitivity and depth ", Vision Res, Nov;15, pp.1231-1238, 1987.
- [13] 横澤一彦, "視覚科学", 勁草書房, pp.74-75, 2011.
- [14] 西田眞也, Alan Johnston, "Influence of motion signals on the perceived position of spatial pattern", Nature, 397, pp.610-612, 1999.
- [15] Nijhawan, R., "Motion extrapolation in catching" Nature, 370, pp.256-257, 1994.
- [16] Nijhawan, R., "Visual decomposition of colour through motion extrapolation", Nature, 386, pp.66-69,1997.
- [17] 吉田千里, 乾敏郎, "ポインティング動作に基づく空間認知特性の検討", 映像情報メディア学会技術報告, Vol.24, No.51, pp.9-16, 2000.
- [18] 竹市勝, 藤田欣也, 田中秀幸, "仮想環境を利用した自由落下物体の位置予測特性の解析", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.9, No.3,, pp.299-307, 2004.
- [19] 竹市勝, "運動物体の位置予測課題における予測速度低下に関する研究", 東京農工大学大学院工学府電気情報工学専攻学位博士論文, pp.1-103, 2008.
- [20] 藤田欣也, 竹市勝, 田中秀幸, "仮想環境を用いた走行物体の遮蔽後位置予測機構の解析", 自動車技術会学術講演会前刷集, 111(08), pp.1-4, 2008.
- [21] 大山正, "反応時間研究の歴史と現状", 人間工学, Vol.21, pp.57-64, 1985.
- [22] Wang J, Sainburg RL, "The dominant and nondominant arms are specialized for stabilizing different features of task performance", Exp Brain Res Vol.178, pp.565-570, 2007.
- [23] Sainburg RL, Kalakanis D, " Differences in control of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching", J Neurophysiol Vol.83, pp.2661-2675, 2000.
- [24] Schabowsky CN, Hidler JM, Lum PS, " Greater reliance on impedance control in

## 参考文献

the nondominant arm compared with the dominant arm when adapting to a novel dynamic environment”, *Exp BrainRes* Vol.182, pp.567-577, 2007.