

# **Statistical Evaluation of Spatial Attention Shift Caused by Audiovisual Stimuli Using VR**

VR を用いた視聴覚刺激による空間的注意シフトの統計的評価

物質科学コース 4年 月田諒弥

ミケレット研究室

# アウトライン

---

1. 研究の背景
2. 先行研究
3. 先行研究の課題
4. 本研究の目的
5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー
6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
8. 結論

# 1. 研究の背景

2. 先行研究

3. 先行研究の課題

4. 本研究の目的

5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題—空間的特徴による注意シフト—

6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題—心的表象における注意シフト—

7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題—聴覚知覚による視覚への影響—

8. 結論

# 研究の背景

---

- **知覚**に関する研究は高齢者社会や自動車事故など日本の社会問題を解決する糸口として注目されている。
- 中でも、ヒトの**注意**や**認知システム**は古くから研究されてきた。
- 近年 **VR 機器**の発達や**センサー**の発達により**三次元空間**（VR 空間）で視覚刺激や聴覚刺激を呈示することが可能になった。



1. 研究の背景

**2. 先行研究**

3. 先行研究の課題

4. 本研究の目的

5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題—空間的特徴による注意シフト—

6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題—心的表象における注意シフト—

7. 実験 3 ; 視聴覚マルチ課題—聴覚タスクによる視覚探索への影響—

8. 結論

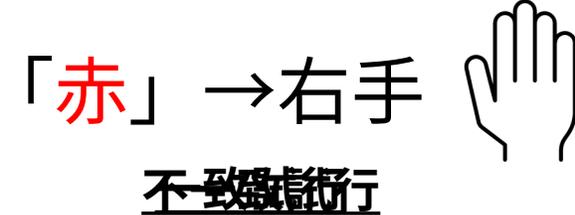
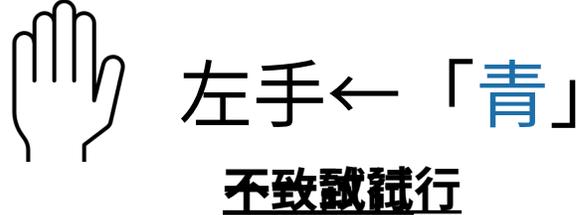
# 注意の先行研究

## 刺激反応適合性効果

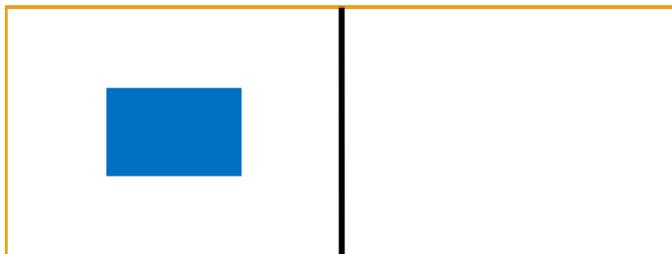
- 刺激が内包する空間的特徴によって反応が**促進・抑制**する効果

- Simon 効果 (Simon, 1990)**

- 刺激の出現位置と反応する方向が一致している場合の方が反応が速くなる効果



反応促進



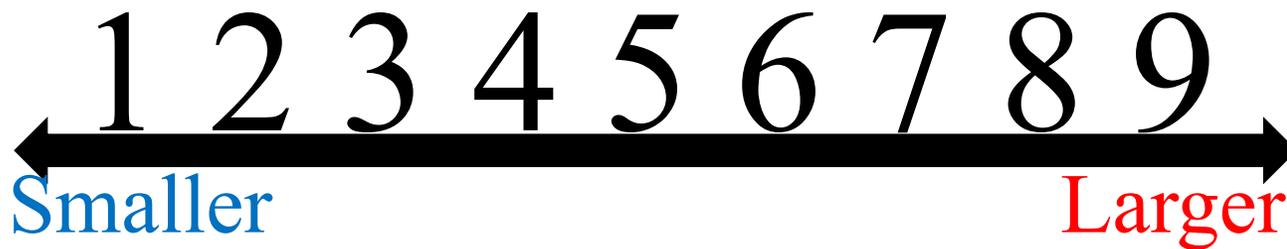
反応抑制



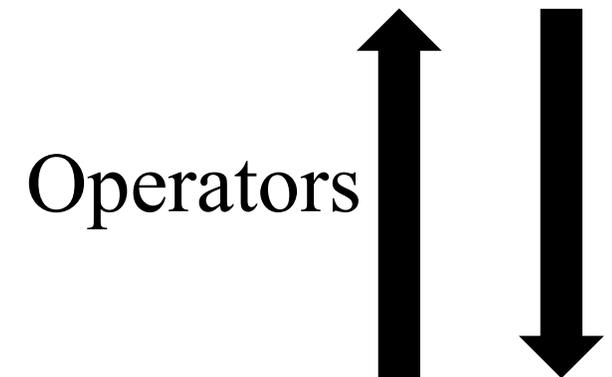
# 注意の先行研究

- **SNARC 効果 (Dehaene et al, 1993)**

- 刺激の**心的な表象**（つまり刺激の内包するイメージ）によっておこる効果  
→数の知覚と空間知覚が対応
- 暗算などの数的処理でも類似の効果 (McCrink et al, 2007; Hartmann et al, 2015)



Mental number line

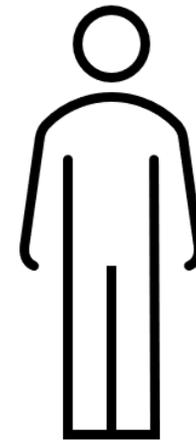
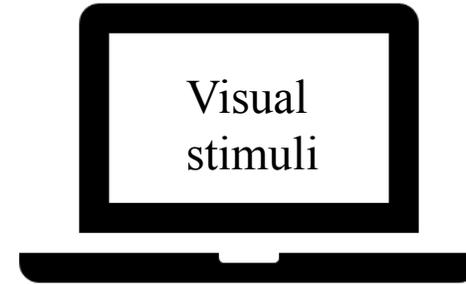


1. 研究の背景
2. 先行研究
- 3. 先行研究の課題**
4. 本研究の目的
5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー
6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
8. 結論

# 先行研究の課題①

---

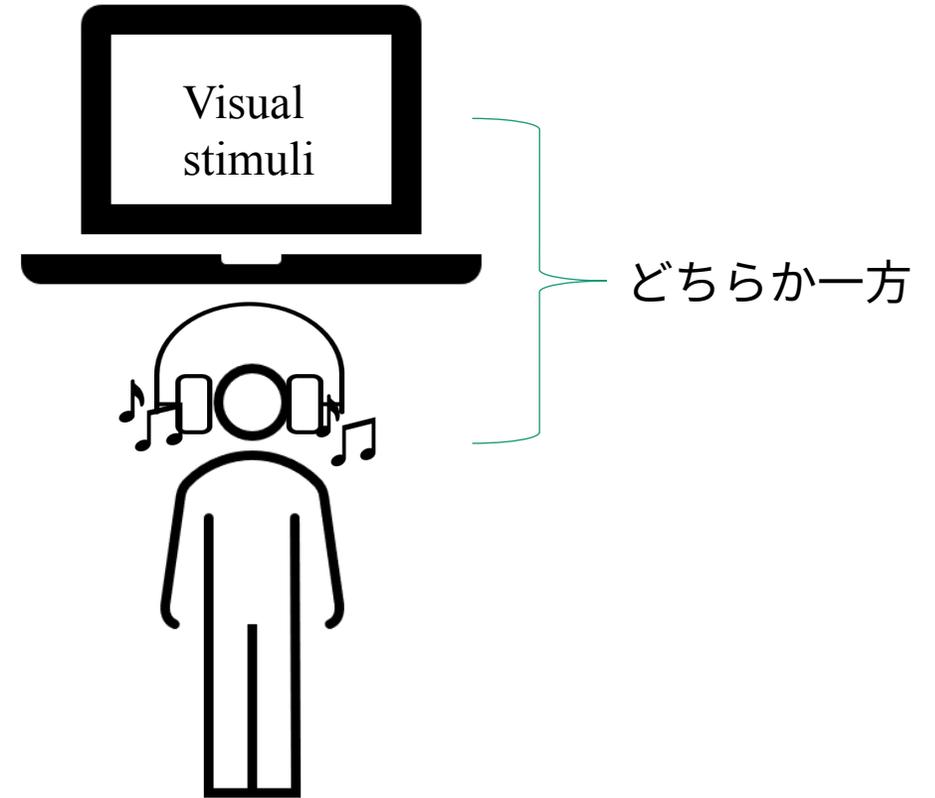
- 注意は三次元的な働きであるのに対して、従来の心理学実験では2Dの平面ディスプレイ上で行われてきた。
- 視覚刺激がディスプレイ内に内在しており、直接的に刺激を呈示できてない。



 **VR の利用**

## 先行研究の課題②

- 注意は**マルチモーダル**（多感覚統合）な機能と推測できる
- しかしながら先行研究の多くは**視覚機能**に対して**単一モダリティ**のみ



➡ **Unity** による多感覚実験アプリケーションの自作

## 先行研究の課題③

---

- 既存の研究のほとんどが ANOVA と t 検定に頼っている  
→ 反応時間などは正規分布しない

 R や Python を利用しより幅広い統計的手法の利用

1. 研究の背景
2. 先行研究
3. 先行研究の課題
- 4. 本研究の目的**
5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー
6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
8. 結論



# 本研究のねらい



VR空間を用いることで被験者に刺激をダイレクトに呈示



視覚と聴覚の二つのモダリティ刺激実験をUnityで自作視聴覚相互作用を評価

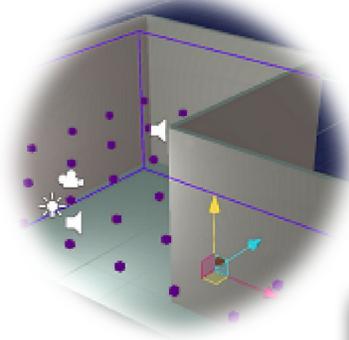


得られたデータにノンパラメトリック手法やマルチレベル分析を行い、科学的に分析する。

→ 聴覚知覚が空間的注意や視覚知覚に与える影響を研究する

# Unity について

- 全 VR/AR コンテンツの 60% 以上が利用しているゲームエンジン
- さまざまなプラットフォーム（Android など）に対応している。
- Spatial audio に対応しており **三次元的視聴覚 VR 空間**を作成できる





## 実験環境（実験1, 3）

### •Oculus Quest: 視覚刺激の呈示およびデータ記録

6DOF ヘッドトラッキングセンサー

OLED ディスプレイ

解像度 1440×1600

リフレッシュレート 72hz

Android OS による **スタンドアローン VR**

内臓ストレージに実験データを記録

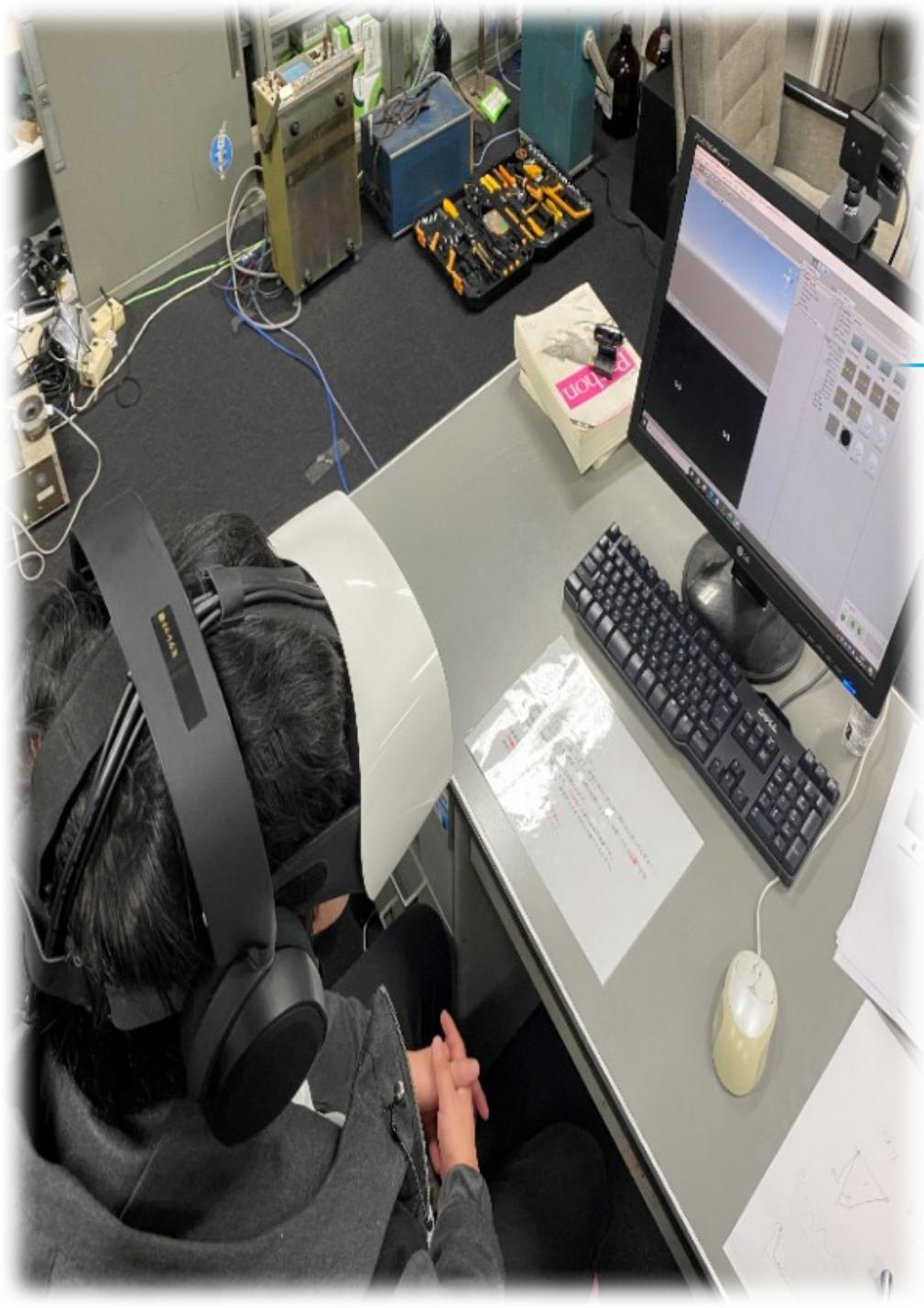
### •ヘッドセット: 聴覚刺激の呈示

SteelSeries Arctis 7

20 ~ 20000Hz

実験1での聴覚刺激は Steam Audio により HRTF を使った空間オーディオ

### •Oculus Touch コントローラー: 被験者の反応入力



## 実験環境（実験2）

### • FoveVR: 視覚刺激の呈示

6DOF センサー

OLED ディスプレイ

解像度 2560×1400

リフレッシュレート 60 hz

**アイトラッキング機能**

データ記録や演算処理は PC 側で行う

### • ヘッドセット: 聴覚刺激の呈示

SteelSeries Arctis 7

20 ~ 20000Hz

1. 研究の背景
2. 先行研究
3. 先行研究の課題
4. 本研究の目的
5. **実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー**
6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
8. 結論

# 実験 1 視聴覚サイモン課題

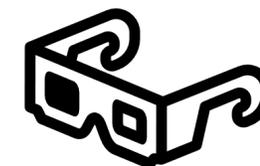
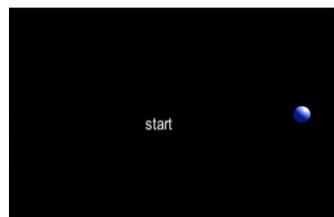
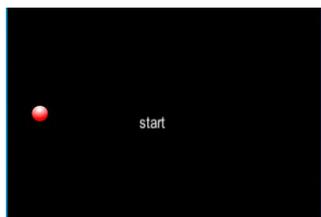
実験の目的：視聴覚サイモン効果の検討

# 実験手順 (n= 13)

- 被験者に「赤」 (or 「青」) の音声をヘッドホンのL又はRから再生



- 上記聴覚刺激に加えて一定確率で視覚刺激を呈示



- 被験者は聴覚刺激に対応したボタンを入力→反応時間を記録



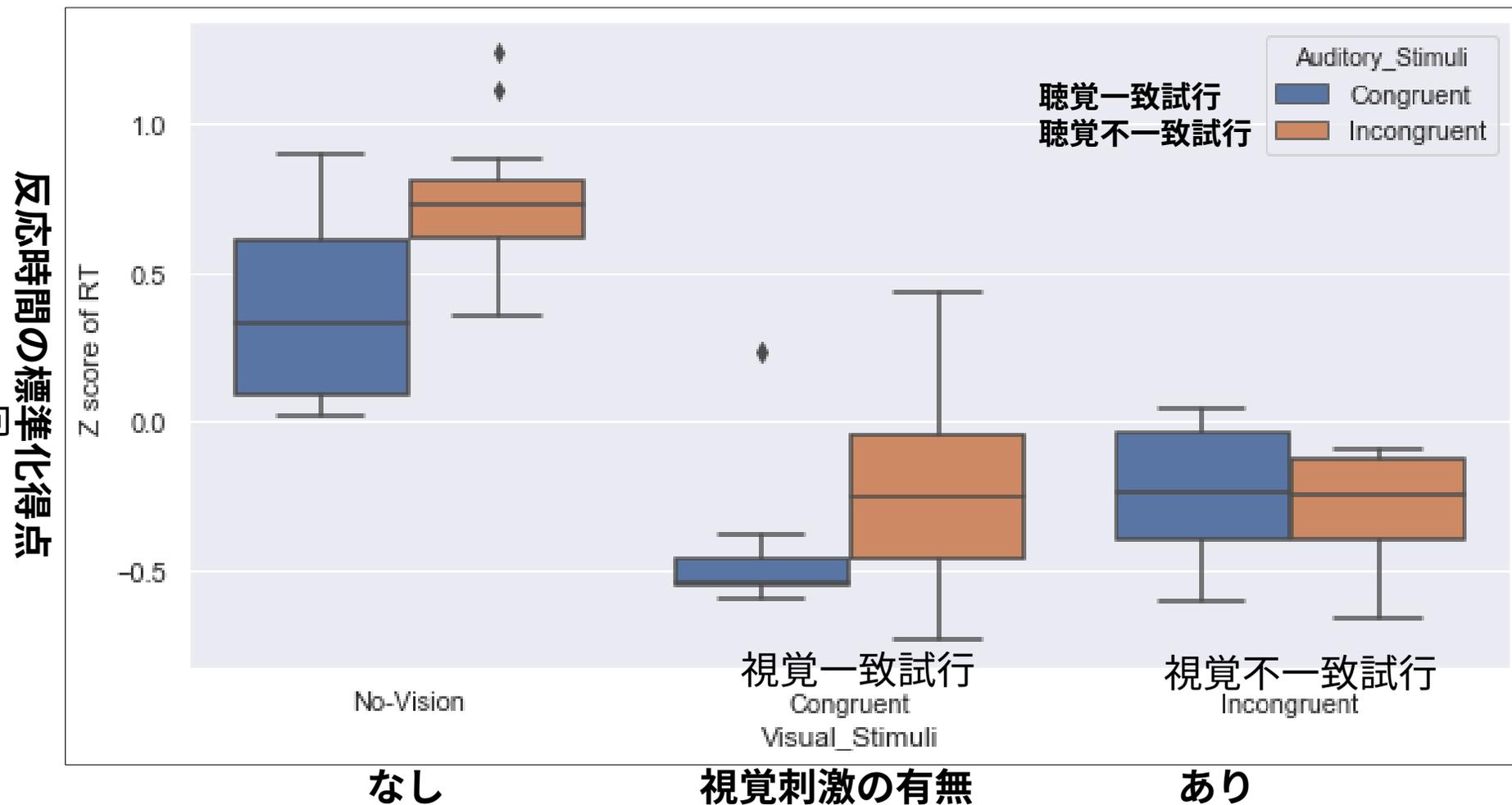
左手ボタン ← 「青」

「赤」 → 右手ボタン



# 実験 1 結果

## 反応時間と視聴覚刺激の関係 (n = 13)



\* **一致試行** = 刺激の呈示方向が  
反応すべき方向と一緒

\* **1人につき 100 試行**。  
誤答試行は解析から除外

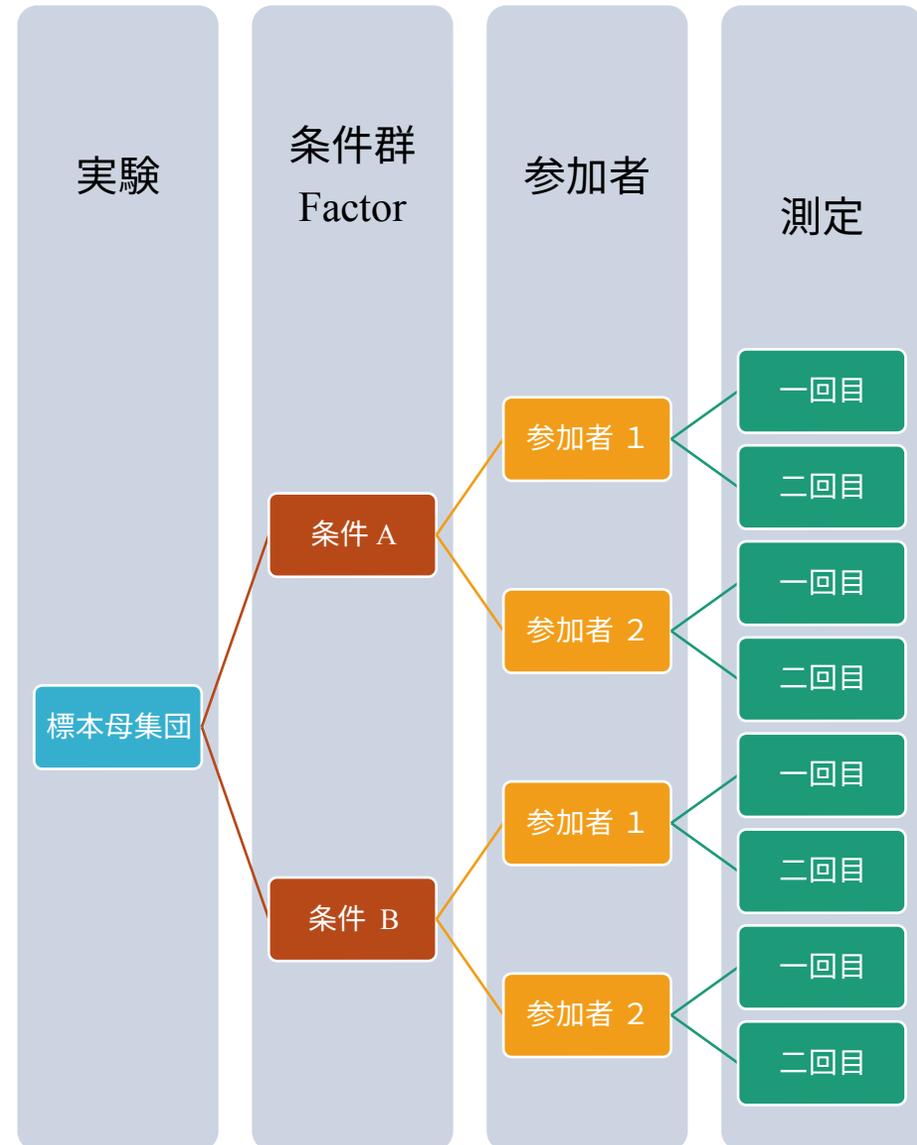
\* 反応時間は各人で  
標準化後に集計、平均値  
を個人の代表値とする。

# 解析

- 従来の手法（二元配置分散分析）では母集団が正規分布しているという仮定およびマルチレベルなデータに対しては集計せざるを得ない
- →GLMM = 一般化線形混合モデル (Generalized Linear Mixed Model) を使用

ネストされた生データを直接扱うことができ、個人差を**変量効果**として扱える

正規分布以外の分布族を指定することができる。



反復試行マルチレベル構造

# 解析結果

- 聴覚一致試行に比べて聴覚不一致試行で有意に反応時間が長くなる (聴覚サイモン効果)
- 視覚刺激呈示により反応時間が有意に短くなった (冗長性信号効果 + 視覚サイモン効果)
- 聴覚刺激と視覚刺激の相互作用項が有意 → **視聴覚相互作用**



視聴覚刺激がともに不一致試行なのに反応時間が速くなるのは**奇妙で注目すべき結果**

分布族にガンマ分布 \* を指定した切片変動モデル

Generalized linear mixed model fit by maximum likelihood (Laplace Approximation)					
Family: Gamma (identity)					
Formula: RT ~ Auditory_Stimuli + Visual_Stimuli + Auditory_Stimuli:Visual_Stimuli+(1   ID)					
<b>Random effects:</b>					
Groups	Name	Variance	Std.Dev		
ID	(Intercept)	0.002108	0.04592		
	Residual	0.019727	0.14045		
Number of obs	1291	groups:	ID,13		
<b>Fixed effects:</b>					
		Estimate	Std. Error	t-value	Pr(> z )
	(Intercept)	0.867893	0.04592	18.9	<2e-16 ***
	Auditory_Stimuli: Incongruent	0.033649	0.0104	3.235	0.00121 **
	Visual_Stimuli: Congruent	-0.094188	0.009797	-9.614	<2e-16 ***
	Visual_Stimuli: Incongruent	-0.071083	0.010013	-7.099	1.26e-12 ***
	Auditory_Stimuli:Incongruent- Visual_Stimuli:Congruent	-0.015154	0.014161	-1.07	0.28456
	Auditory_Stimuli:Incongruent- Visual_Stimuli:Incongruent	-0.040728	0.014166	-2.875	0.00404 **

\* ガンマ分布を利用した根拠は Palmer et al,2011 より

# 考察→視聴覚の空間的位置による注意シフト

---

- 聴覚サイモン効果が確認できた。さらに視覚刺激の同時呈示による冗長性信号効果及び視覚サイモン効果が確認された。
- 冗長性信号効果のうち共活性化モデルを支持する。
- また反応すべき方向とは無関係に視覚刺激と聴覚刺激の方向が一致しているとき反応時間が有意に短くなることが分かった。
- よって視覚と聴覚の空間的注意は相互に作用しているということ、および視聴覚で二つの刺激を知覚する際に空間的位置が同一なほど反応が促進されることがわかった。

1. 研究の背景
2. 先行研究
3. 先行研究の課題
4. 本研究の目的
5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー
- 6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー**
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
8. 結論

# 実験 2 視聴覚暗算課題

実験の目的： 心的表象による空間的注意シフトの評価

# 実験2

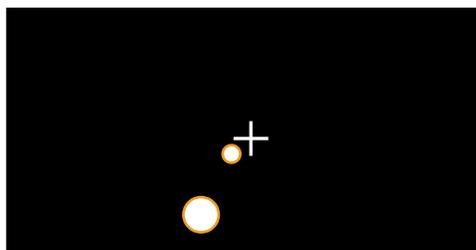
---

- 実験2は聴覚刺激として暗算問題を使う
- 聴覚呈示の足し算、引き算および視覚呈示の足し算時に注意シフトがおこることが報告されている。(Hartmann, Mast&Fischer 2015; 八木, 入戸, 篠原 2017)
- 本実験では視覚的および聴覚的に呈示された暗算問題(一桁の加算もしくは減算)を同一実験内で行い、**計算中の視線を測る。**  
→**視線データから注意シフトを評価**

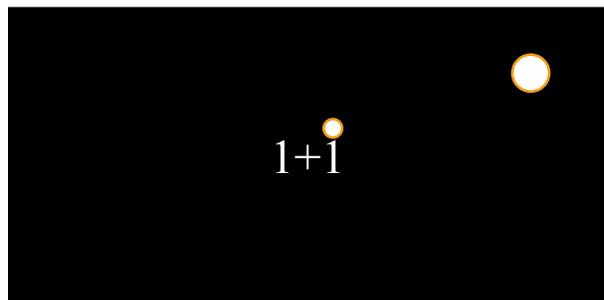
# 実験手順 (n= 12)

(被験者の視点)

警告信号

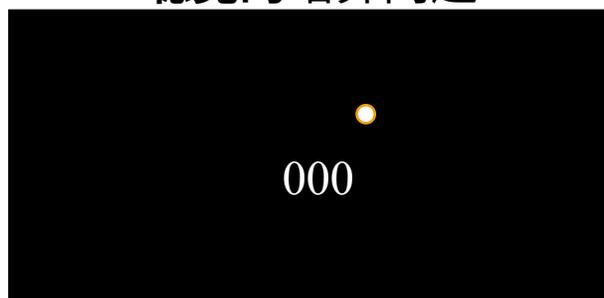


視覚的暗算問題

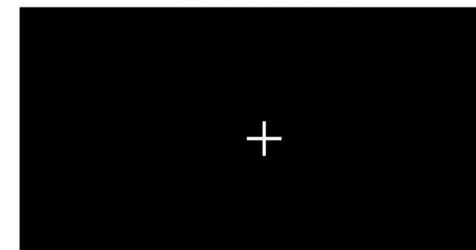


OR

聴覚的暗算問題



警告信号



視覚的暗算と聴覚的暗算で目に入る視覚刺激に大きな変化がないようにする

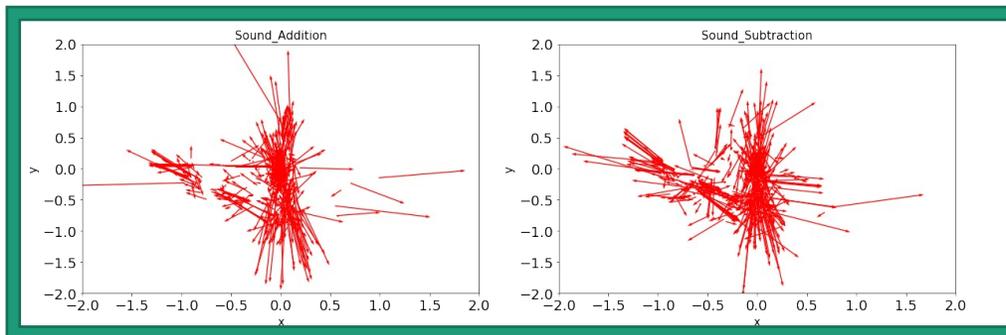
ベースラインとなる視覚刺激

視覚的足し算、視覚的引き算、聴覚的足し算、聴覚的引き算がランダムな順序で20問ずつ計80試行出題

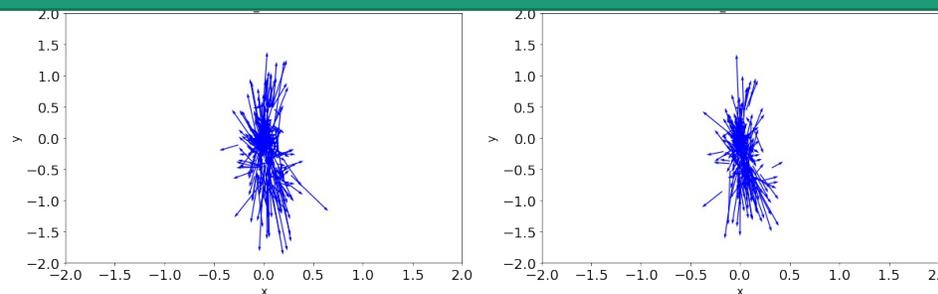


# ベクトルプロット結果

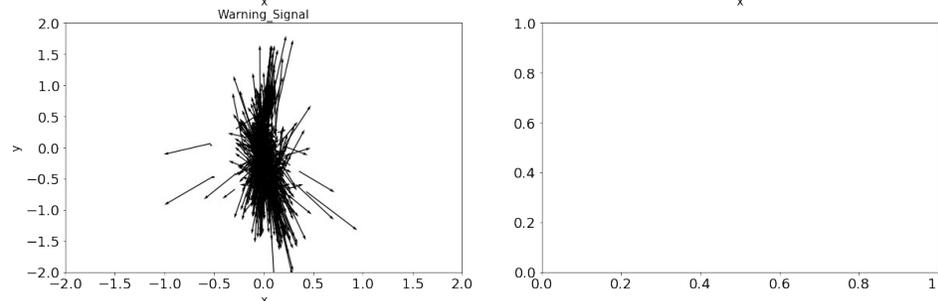
聴覚的暗算課題  
(左側足し算、右側引き算)



視覚的暗算課題  
(左側足し算、右側引き算)



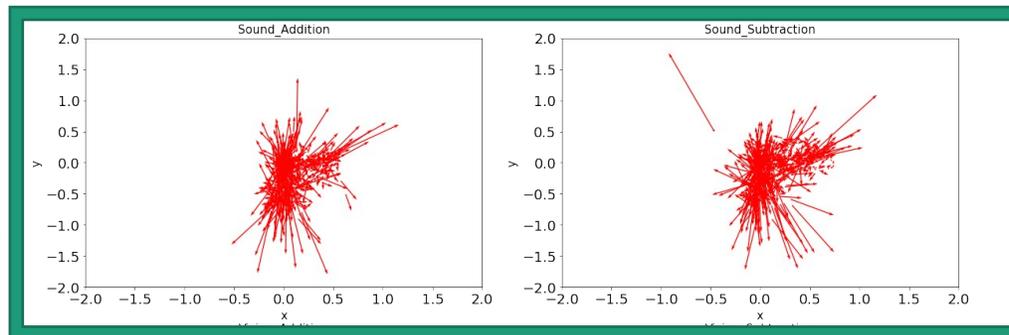
警告信号



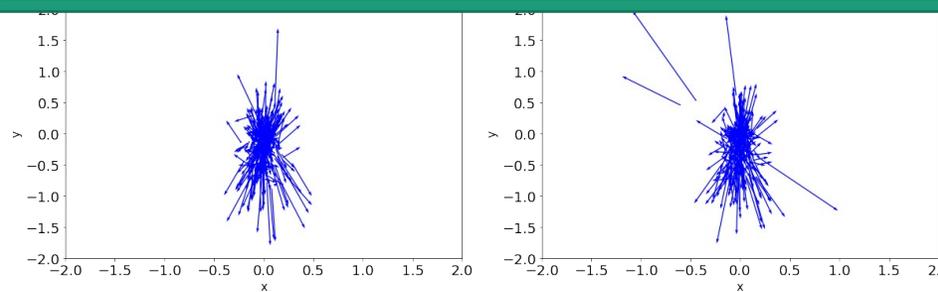
聴覚的暗算時に水平方向の視線のシフトが観測

# ベクトルプロット結果

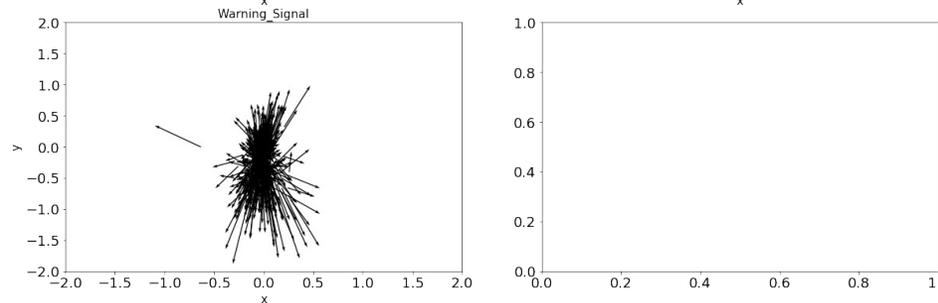
聴覚的暗算課題  
(左側足し算、右側引き算)



視覚的暗算課題  
(左側足し算、右側引き算)

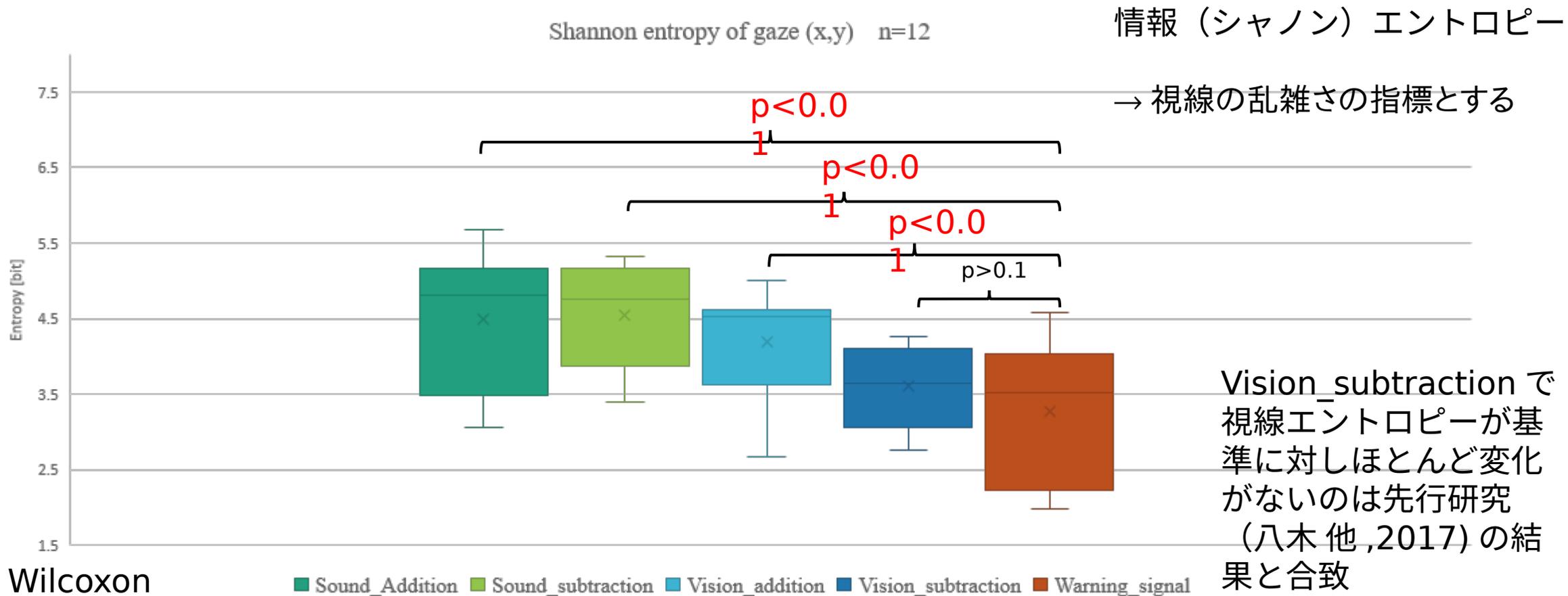


警告信号



聴覚的暗算時に水平方向の視線のシフトが観測

# 視線の情報エントロピーによる分析結果



p 値は Wilcoxon signed-rank test に Holm の 多重比較修正を

Vision\_subtraction で 視線エントロピーが基準に対しほとんど変化がないのは先行研究 (八木 他, 2017) の結果と合致 = 視覚刺激の違いによるエントロピー上昇を否定

# 実験2の考察→心的表象が視線運動に影響

---

- 聴覚モダリティでの呈示では**視線の変化**がはっきり確認できた。
- エントロピー分析では聴覚足し算引き算および視覚足し算で有意にエントロピーが増加した。また視覚引き算のエントロピー変化は有意性がなかった（先行研究と矛盾しない）
- これらのことから暗算、特に聴覚呈示された暗算課題は視覚機能に影響を及ぼしていることが分かった。
- ただ足し算と引き算間ののちがいは聴覚モダリティで見られなかった。

1. 研究の背景
2. 先行研究
3. 先行研究の課題
4. 本研究の目的
5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー
6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
8. 結論

# 実験 3 視聴覚マルチタスク課題

実験の目的： 聴覚知覚が視覚タスクへ及ぼす影響の検討

# 実験3

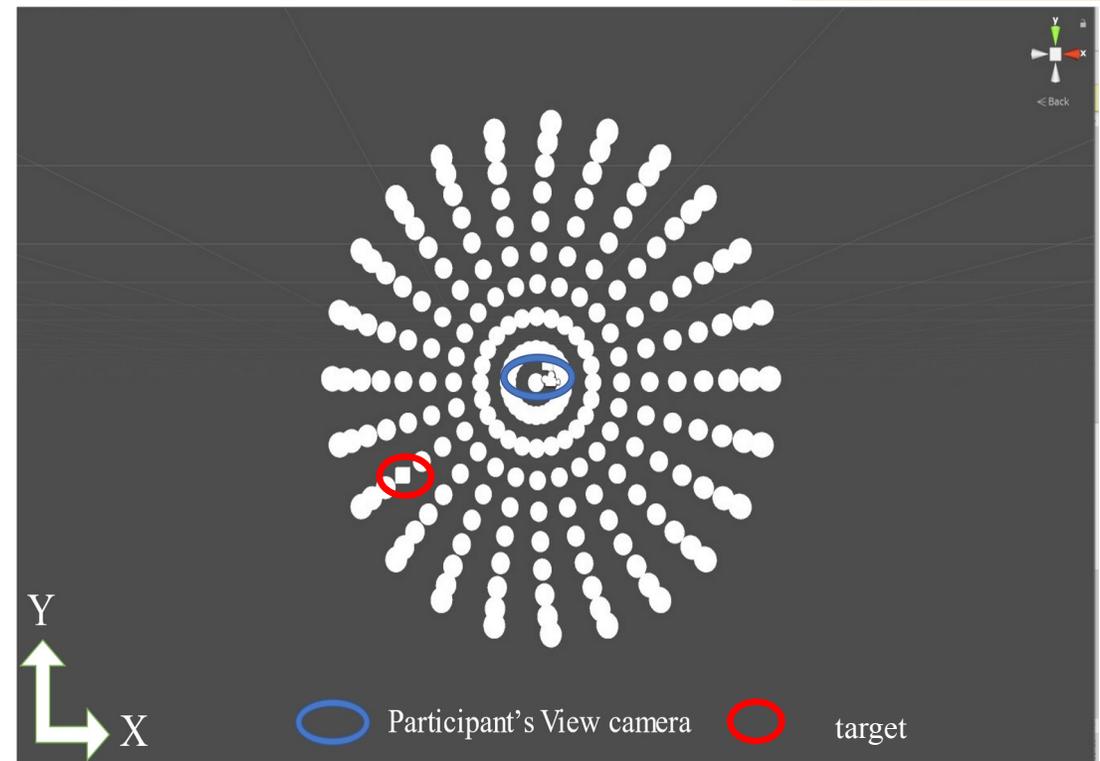
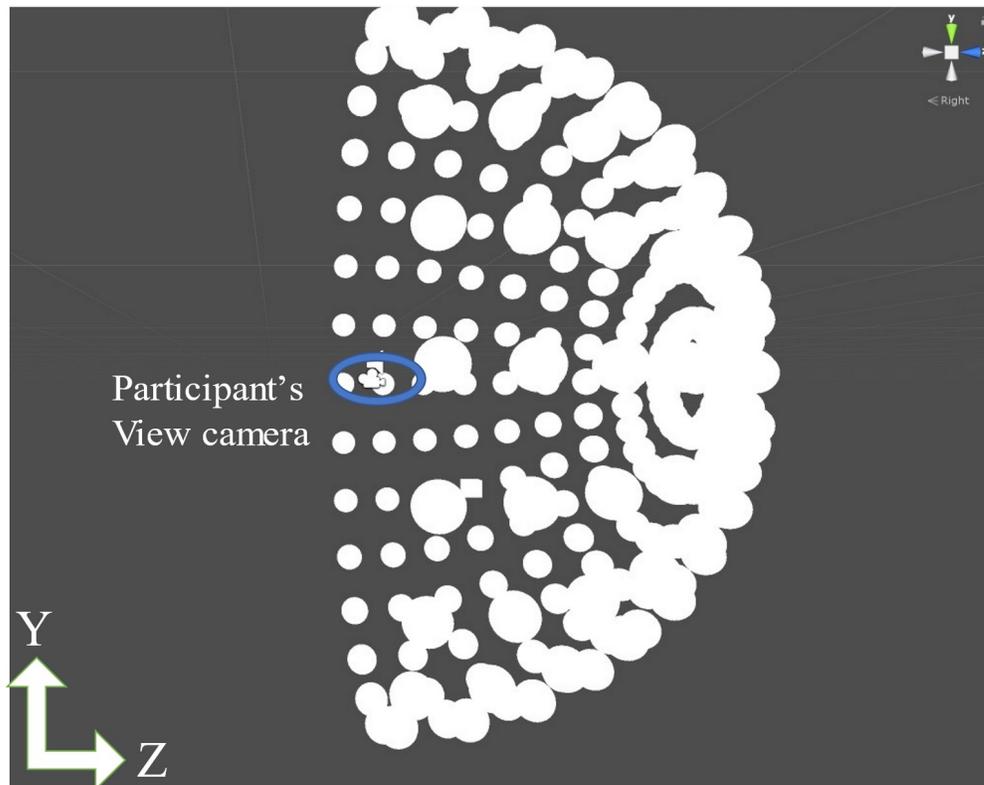
---

- 実験2で確認できた暗算中の視線の変化が実際にマルチタスキングを行っているときの視覚探索成績での変化として現れるか確認する

# 実験手順 (n = 24)

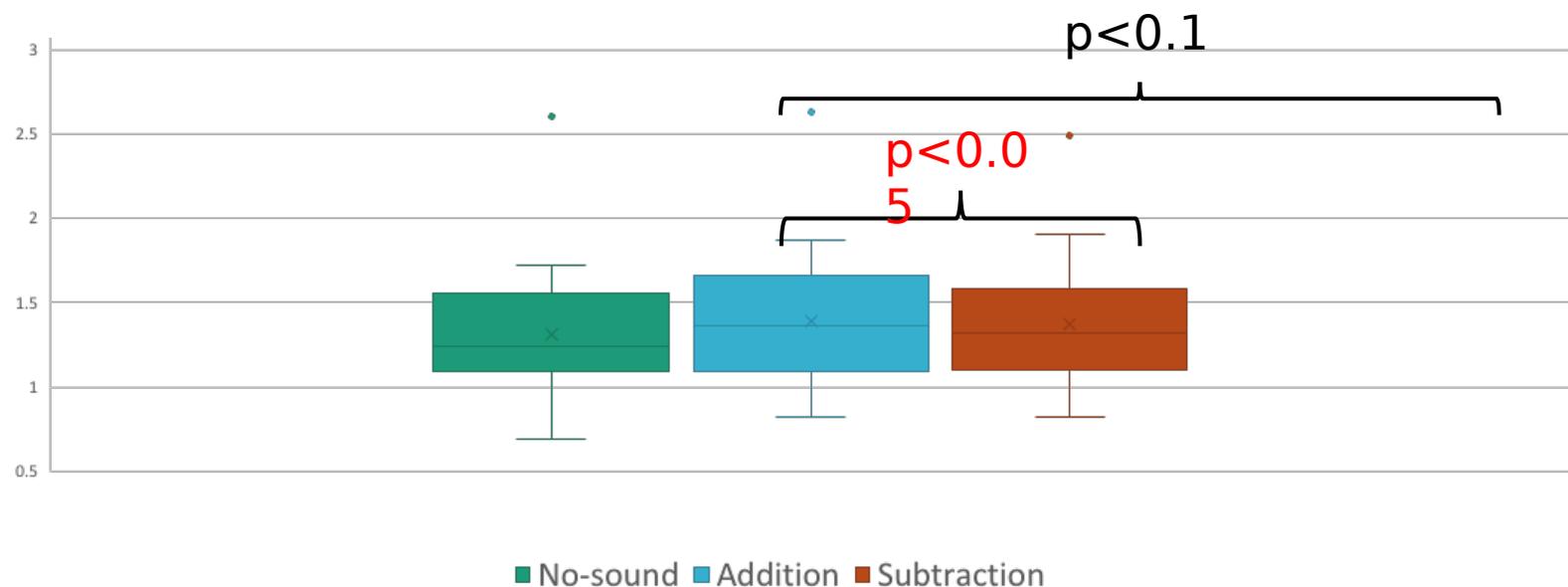
## VR 空間

一つだけ形の違うターゲットを見つけるまでの反応時間およびヘッドトラッキングデータを記録。



この空間上でターゲットを探す視覚探索タスク＋聴覚暗算課題を課した  
 → **シングルタスク（視覚探索のみ）** 時と **マルチタスキング（視覚探索＋聴覚暗算）** 時を比較

# 頭部角速度による分析



足し算マルチタスク時に  
角速度上昇

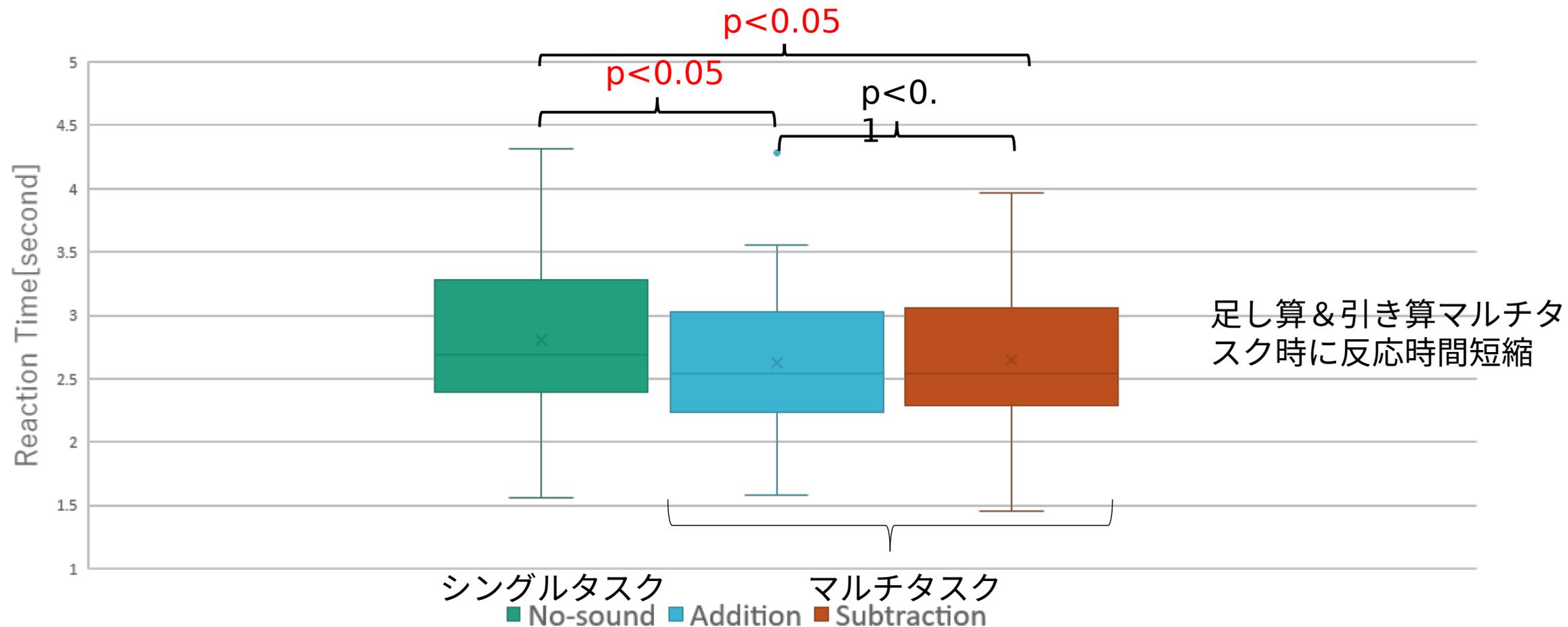
シングルタスク

マルチタスク

n = 24

p 値は Dunnett 法による多重比較による

# 反応時間（検索時間）による分析



p 値は Wilcoxon signed-rank test に Holm の多重比較修正を適用した

n = 24

# 実験3の考察→聴覚タスクが視覚タスクに影響

---

- 探索中の頭部角速度が無音時に比べて足し算マルチタスキング時では有意に速度が上がった。
- 反応時間も無音時に比べて足し算および引き算マルチタスキング時に有意に反応時間が短くなった。

→ 聴覚入力された暗算情報処理が視覚探索タスクに影響を与えていることが示唆されている。

→ 聴覚知覚が視覚的注意に影響を及ぼす可能性を示唆

1. 研究の背景
2. 先行研究
3. 先行研究の課題
4. 本研究の目的
5. 実験 1 ; 視聴覚サイモン課題ー空間的特徴による注意シフトー
6. 実験 2 ; 視聴覚暗算課題ー心的表象における注意シフトー
7. 実験 3 ; 視聴覚マルチタスク課題ー聴覚知覚による視覚への影響ー
- 8. 結論**

# 結論：まとめと今後の展望

---

- 本研究では VR 空間上で**三種類の視聴覚知覚実験**を作成、行った。
- **実験 1**では聴覚刺激の空間的特徴と視覚刺激の**空間的特徴**がもたらす空間的注意シフトを反応時間から統計的に評価した。
- **実験 2、3**では聴覚刺激のもつ**心的表象（非空間的特徴）**が視覚に及ぼす影響をヘッドトラッキング / アイトラッキングデータから評価した。
- これら実験から聴覚知覚は**視覚知覚と相互作用**をすること、また**空間的注意シフト**をもたらすことが分かった。
- 今後は HRTF をさらに駆使した実験で視聴覚垂直サイモン効果の検討や歩行時、運転時の聴覚刺激による影響などを検討する余地がある。

# 画像の出典

- <https://www.roadtovr.com/valve-launches-free-steam-audio-sdk-beta-give-vr-apps-immersive-3d-sound/>
- <https://valvesoftware.github.io/steam-audio/>
- <https://unity.com/>