

VR 環境におけるレイキャストによるオブジェクトの 選択成功率推定ツールの提案

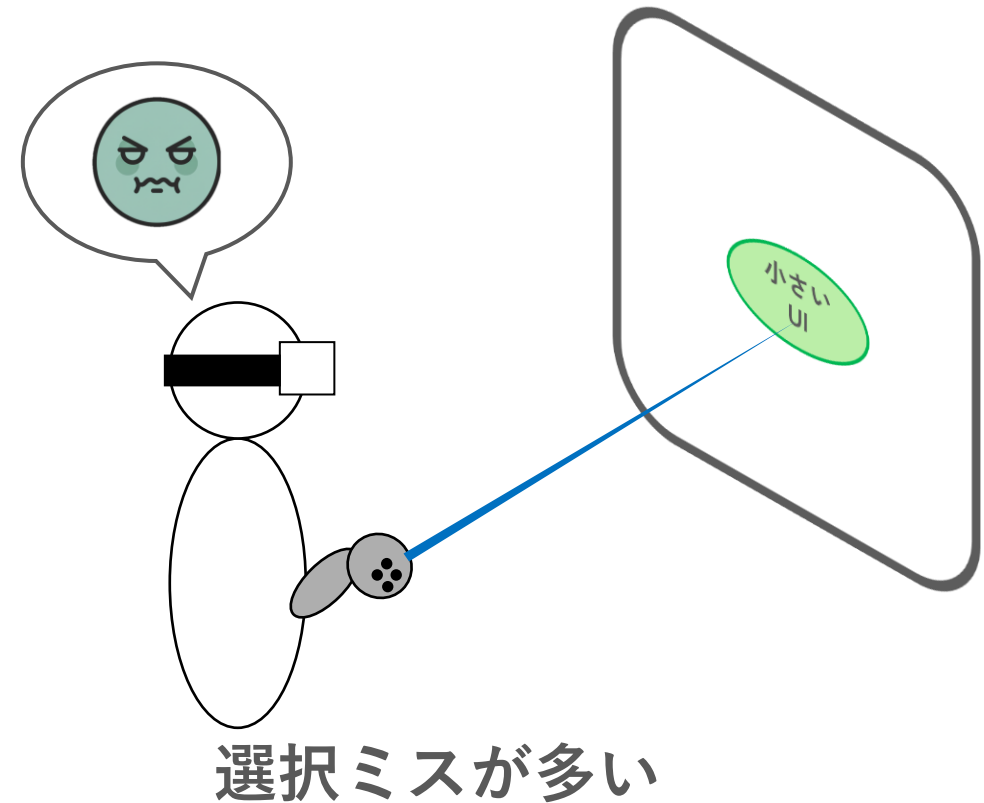
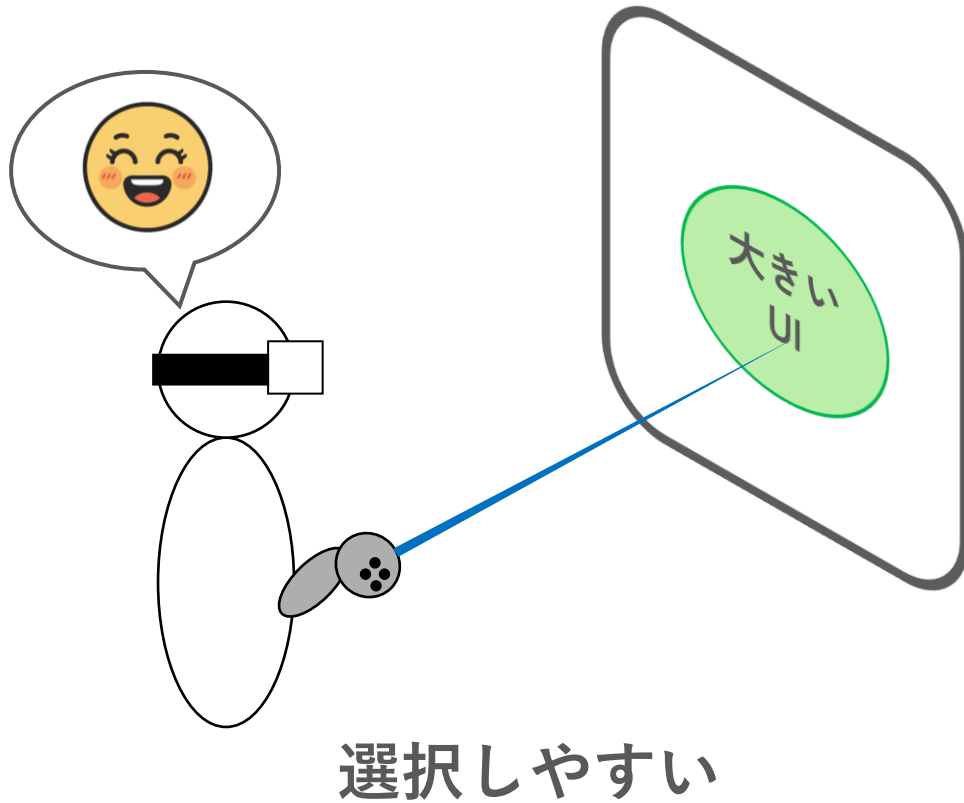
奥野 達也^[1], 清水 春翔^[1], 笠原 暢仁^[1], 本間 大一優^[1], 山中 祥太^[2], 宮下 芳明^[1]

^[1] 明治大学, ^[2] LINEヤフー株式会社



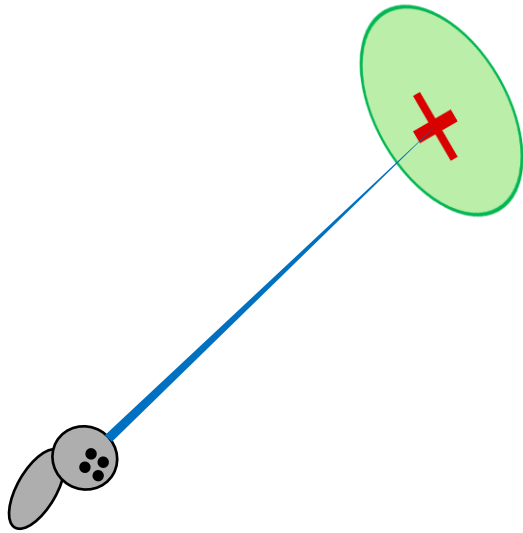
Unity上でオブジェクトの選択成功率を推定し表示

選択成功率推定ツール

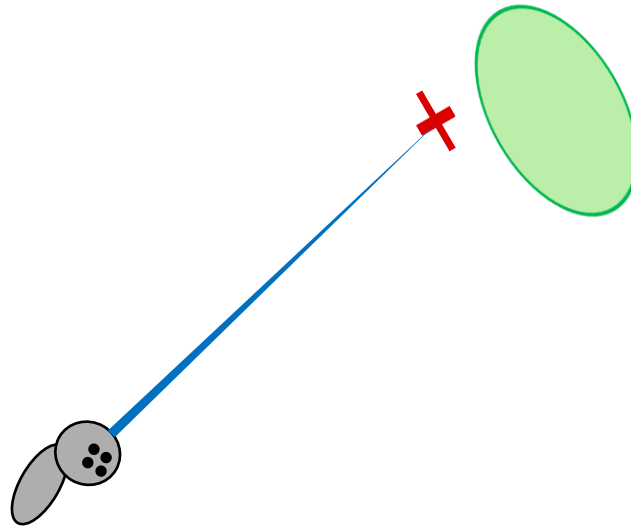


従来はVR 環境のUIの使いやすさを**定量的に**検討できなかった

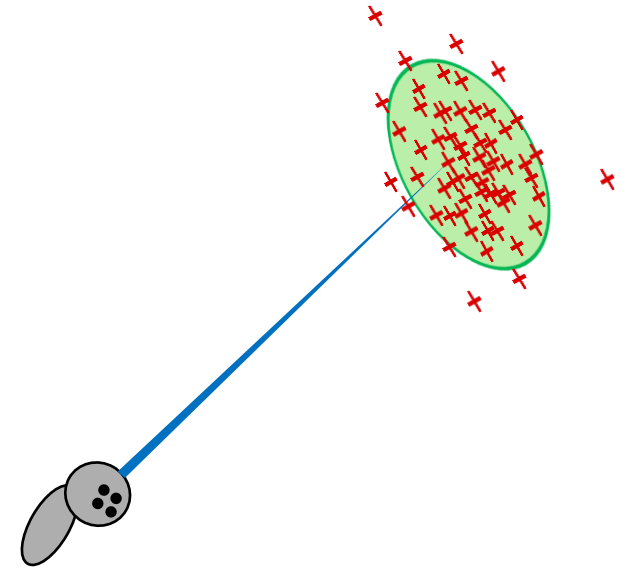
選択成功率



成功



失敗



100回中80回成功なら
選択成功率は**80%**

先行研究：UI設計支援ツール [山中+, インタラクション2025]

The image displays the Tappy tool interface, which is used for analyzing the success rate of taps on a smartphone screen. The interface is divided into two main sections: the input form on the left and the analysis results on the right.

Input Form (Left):

- Tappy Logo:** A pink circular logo with a stylized 'T' and the word 'Tappy' in pink.
- Description:** スマートフォンのウェブ画面上のボタンやリンクなどの大きさを分析し、タップの成功率を表示するツールです。
- URL (必須):** A text input field containing 'https://www.ipsj.or.jp/'. Below it, a note reads: 成功率を予測したいサイトのURL (ページサイズが大きい場合、エラーになる可能性があります).
- デバイス:** A dropdown menu showing 'iPhone 17'. Below it, a note reads: 対象のデバイス.
- 待機時間 (ms):** A text input field containing '3000'. Below it, a note reads: サイトにアクセスしてから予測を始めるまでの時間 (基本はそのままで大丈夫です).
- JSを実行:** A toggle switch is turned on. Below it, a note reads: JavaScriptをサイトで実行するかどうか (基本はオンで大丈夫です).
- 分析する:** A pink button labeled '分析する'.

Analysis Results (Right):

- Information:** A blue banner at the top states: 引用のためにスクリーンショットを加工 (グレースケール化) して表示しています.
- Success Rate Overview:** A toggle switch labeled '成功率を一覧で表示' is turned on.
- Success Rate Data:** A table showing the success rate for various elements on the website. The data is as follows:

Element	Success Rate [%]
情報処理学会 (Information Processing Society of Japan)	97.36
入会する (Join)	99.97
参加発表する (Participate and Present)	99.97
研究会を探す (Find Research Group)	99.97
標準化を知る (Learn about Standardization)	99.97

The screenshot also shows the website being analyzed, which is the homepage of the Information Processing Society of Japan (IPSJ). The website has a dark background with white text and icons. The success rate for the main navigation menu is 99.82%, and for the main content area, it is 94.05%.

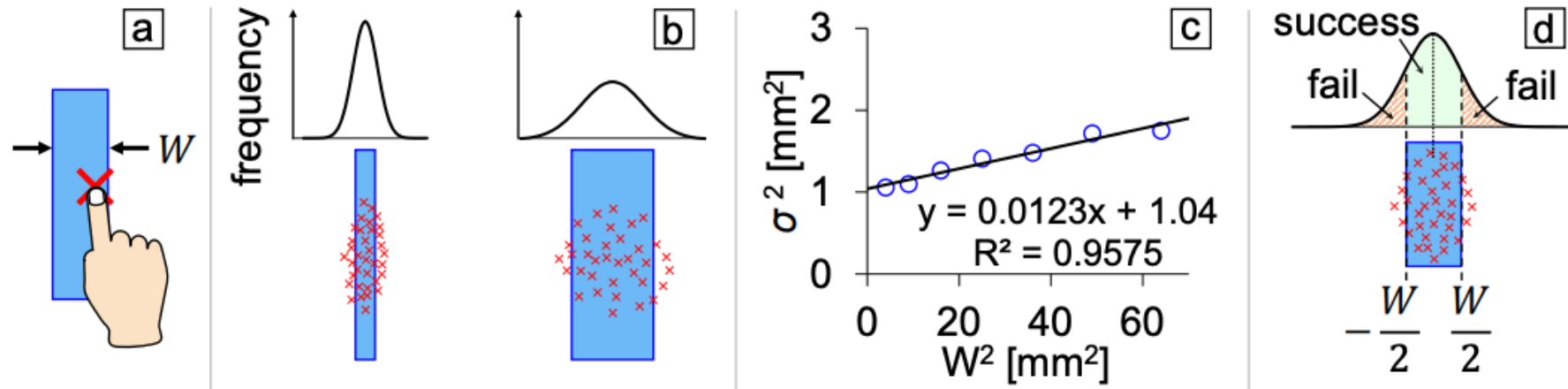
Tappyはスマートフォン上でのWebサイトのUIのタップ成功率を推定するツール
本研究ではVR上に拡張した選択成功率推定ツールの実現を目指す

選択成功率推定ツール



Unityのエディタ上でオブジェクトを選択すると選択成功率を表示

研究背景：成功率推定方法



Yamanaka 2024 Fig.2

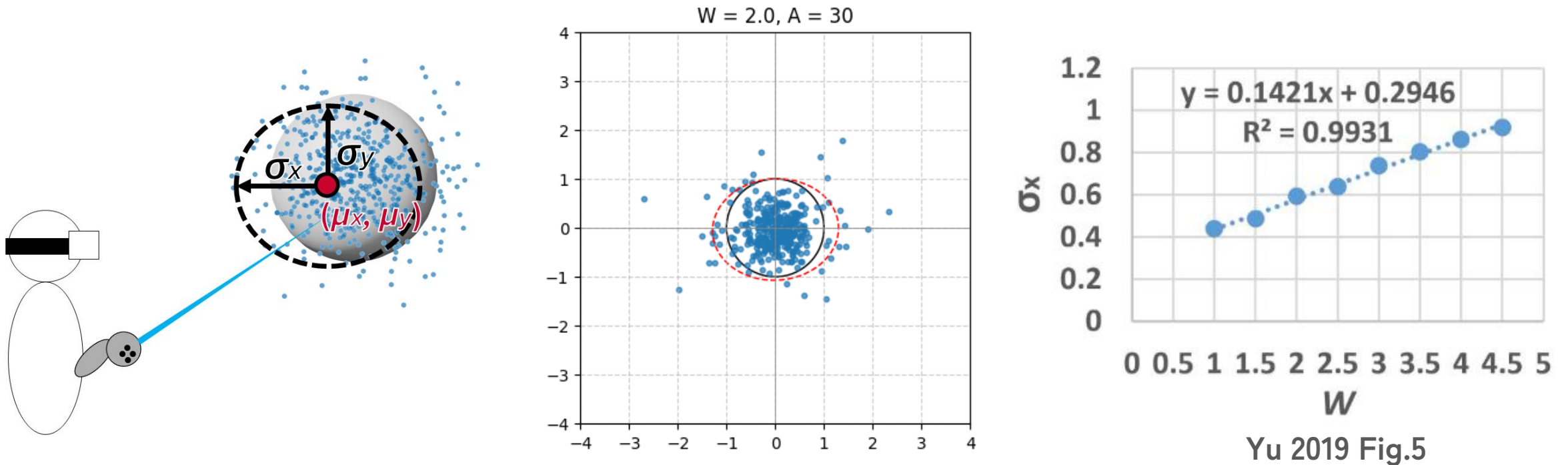
□ 二重ガウス分布モデル [Bi+, UIST 2016]

1. タップ座標の分布が、ターゲットサイズに応じて変化する正規分布になると仮定する。
2. 正規分布の分散を数理モデルによって予測することで、正規分布の形状を推定する。
3. 分布形状の累積分布関数を用いて、タップ座標がターゲット内である確率を計算する。

VR環境におけるポインティングの終点分布 [Yu+, TOG 2019]

終点分布は正規分布し、その分布は、 $\mu = \begin{bmatrix} gW + h \\ 0 \end{bmatrix}, \Sigma = \begin{bmatrix} (aW + bA + c)^2 & 0 \\ 0 & (dW + eA + f)^2 \end{bmatrix}$

サイズW, 距離A, によって終点分布の平均 μ , 標準偏差 σ が推定可能



複数のサイズW, 距離Aで平均 μ , 標準偏差 σ を測定すれば, 回帰分析でパラメータが求まる

終点分布を推定でき, 選択成功率は, $SR = \iint_D \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\left(\frac{(x-\mu_x)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\right) dx dy$

推定モデル構築のためのデータ収集実験

□ 参加者

- 学生18名 (女性2名, 男性16名: 平均年齢21.0歳, 全員右利き)

□ 独立変数

- ターゲットサイズ $W = 1 \sim 4.5^\circ$ (0.5° 刻み, 8条件)
- ターゲット間距離 $A = 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$ (3条件)

□ タスク

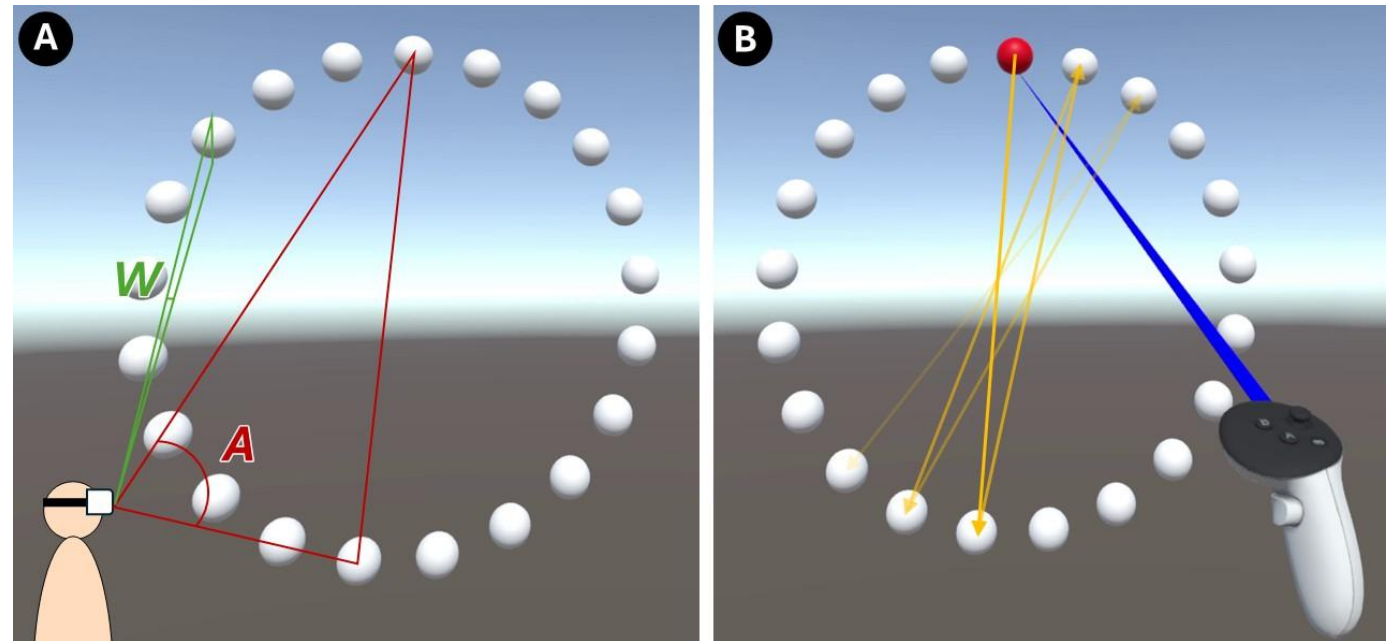
- 2次元Fitts' lawタスク:
21個のターゲットを順番に選択

□ 選択手法

- 手持ちコントローラによる
レイキャスティング

□ 教示

- 自然なスピードでターゲットを
選択するように指示



結果

ターゲット間距離 (A) の不使用

距離 (A) 不使用モデルは、既存モデル（距離 (A) 使用）と同等の精度で成功率推定が可能

- ポインターとターゲット間の距離を考慮せずにツールを使用でき、使いやすさが向上

ワールド座標系の使用

ワールド座標系の x,y を使用したモデルは既存モデル（進行方向 x,y ）と同等の精度で成功率推定が可能

- ポインターの進行方向やターゲットを考慮する必要がなくなる
- x,y が独立に推定できることから、矩形にも対応できると仮定

ツールについての意見収集

ツールの有用性を検討するために、VR開発経験者に試用とフィードバックの提供を依頼

- 参加者：VRゲーム開発経験者 2名

- 参加者A：開発経験1年

- 参加者B：開発経験5年（VRChatワールド制作者）

- 調査内容

- 参加者A（制御環境）：サンプルUIを提示し、ツールを使用しながら改善してもらう

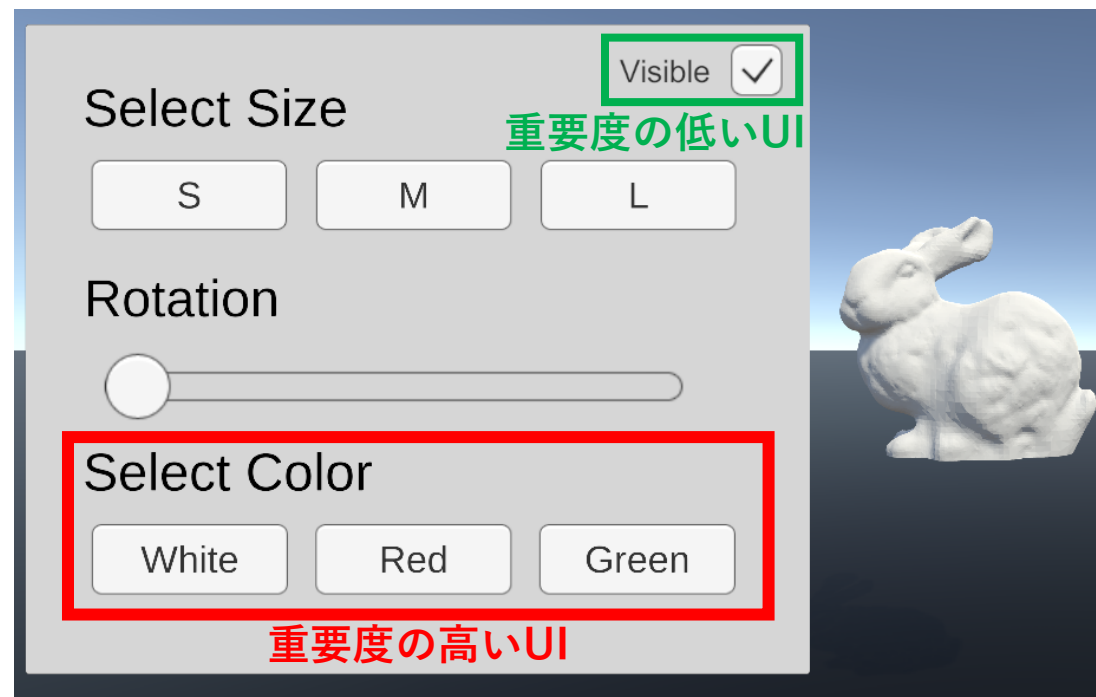
- 参加者B（実開発環境）：1週間、自身の開発ワークフローで試用してもらう

ツールについての意見収集（制御環境）

- ❑ 各UIの重要度を判断し、重要度が高いUIは成功率95%以上にした
- ❑ 経験に基づき、隣接するUIは選択が難しいと判断し、改善した
- ❑ 開発者の主観や慣れで見過ごす問題を特定する指標になる
- ❑ 実際の開発ではQAがチェックする前段階でのUI設計に使用できる



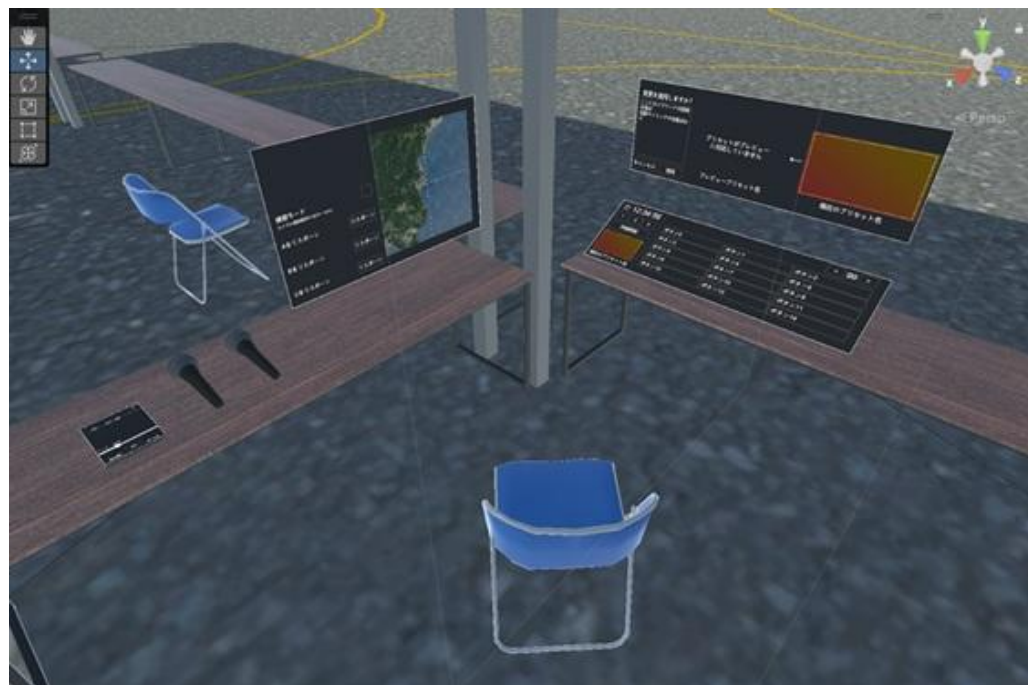
修正前



修正後

ツールについての意見収集（実開発環境）

- ❑ ユーザーのアバター身長差によるアクセシビリティ問題を、デバッグを繰り返すことなく定量的に評価できる
- ❑ VRChat SDKの制約上、実機デバッグが困難な環境で、エディタ上でユーザビリティを検証できる
- ❑ これまで直感や経験に頼っていたUIサイズ設計に、客観的な指標を与えた



参加者はツールをVRChatでのイベントのスタッフ向けUI（すべて平面）の開発に使用した

モデルの制約

実験設定の限定性

- 実験では円周上に配置された球体ターゲットを使用
 - 👉 2D平面や視野角の変動は考慮していない
- 視野の中心部と周辺部で選択精度が異なる可能性を考慮していない
- 矩形等の他のターゲットに対応できるかが未検証

入力デバイスと選択手法の限定性

- 手持ちコントローラーによるレイキャスティングのみ
- 入力デバイスの物理的な形状が選択精度に与える影響（例：ハイゼンベルク効果）の未考慮

被験者属性の偏り

- 実験参加者はVR経験ありの大学生に限定，未経験者や異なる年齢層は未検証

ツールの制約・展望

制約

- 意見収集の参加者数が少数かつ、経験者に限定
- 定量的かつ網羅的な評価には至っておらず、追加の大規模な調査が必要
- 開発者の経験などを取り込んだツールではなく、数理モデルに依存

展望

- ツールを使って作ったUIと利用せずに作成したUIの差やUI設計までの時間の比較・評価
- エディタ上だけでなく、HMDを装着した状態で選択成功率を表示する機能を追加
- レイキャストを用いたゲーム等において、難易度を定量的に設計・分析するツールとしても応用

まとめ

- ❑ 既存のVR環境の終点分布モデルを再検証しつつ新しいパラメータ検討やモデル簡略化
- ❑ Tappy の概念を VR UI に拡張し「成功率推定ツール」として実装
- ❑ ツールがUI設計プロセスに客観的な指標を提供し、改善のきっかけとなり得ることが示唆

