

VR 百人一首かるたにおける札取り動作の数理モデル解析とそのゲームスキル調整への応用

丸山 礼華* 栗原 一貴* 山中 祥太†

概要. 本論文では百人一首かるたにおける新しいゲームスキル調整方法について検討する。VR 空間内で実装された百人一首かるたゲームにおける、札を取るプロセスの一部がいわゆるポインティングタスクとみなせることから、被験者実験によって得られたデータについて Fitts の法則を用いた数理モデル解析を行った。その結果、札までの距離、手の大きさ、札の大きさを VR 空間内で変更することが札を取る所要時間に与える影響を精度良く予測することができた。また、その際の各種パラメータ変更に対してプレイヤーが適切だと感じられる範囲を抽出した。これらの結果から、VR 空間内で札までの距離、手の大きさ、札の大きさを適切な範囲で変更することにより、札を取る所要時間を制御し対戦相手との拮抗に近づける手法の有効性が示唆された。またこのような変更がプレイヤー自身や対戦相手の知覚に与える影響について考察した。

1 はじめに

インクルーシブな対人ゲームの実現において重要な観点の一つは、プレイヤー間のスキル差の適切な調整である。対人ゲームにおいて、あるプレイヤーが他のプレイヤーと異なるスキルレベルである場合に、パフォーマンスや勝敗判定が拮抗するようにゲームに調整を施すことは一般的である。調整を行うことで、異なるスキルレベルのプレイヤー同士であっても楽しく互角の勝負をしやすくなり、より多様なプレイヤーの参入とモチベーション維持につながることを期待できる。

しかしそのような調整の結果、プレイヤーが実力を十分に発揮することが難しくなったり、満足感が損なわれたりすることは避けられるべきである。たとえばゲームの調整の主な方法として、ゲームルールの変更、有利な側のプレイヤーへの行動の制限や不平等なスコア評価の実施などが挙げられるが、ルールを大幅に変更する調整は、プレイヤーたちに普段とは異なる身体の使い方や戦略を強いるため、やりづらさを感じさせてしまう可能性がある。また、より強いプレイヤーの実力やその結果としての正当なスコア評価をあからさまに制限してしまうと、プレイヤーたちはプレイ中に制限の存在をことさらに意識してしまいかねない。これは申し訳なさや遠慮といったネガティブな感情につながる可能性がある。これでは、互角の勝負ができるとしても、良い調整であるとは言えないだろう。

そこで、プレイヤーが身につけているスキルの運用

にあまり影響を与えず、理想的には知覚することすら困難な形でゲームスキルを調整することを検討する。我々はこれまでに、対人ゲームである百人一首かるたを対象とし、「VR を用いた互いに知覚困難なスキル調整」を提案している[1]。これはプレイヤーが互いに知覚しにくい、VR 内でのスキル調整である。図 1 はその様子を表した図である。支援の相手の環境に与える影響が小さくなるよう注意深くデザインすることで、支援が相手のスキル運用に与える影響を小さくし、プレイヤーにあまり意識させることなくスキル調整を行うことを意図する。

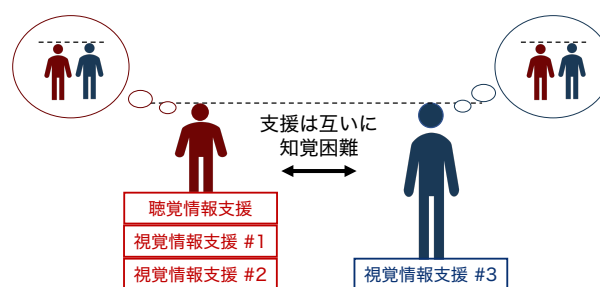


図 1. VR におけるスキル調整。異なるスキル支援を受けることで、プレイヤーは対戦相手も自分と同程度の能力であると錯覚できる。

本論文ではこのような百人一首かるたにおける VR を活用したゲームスキル調整方法の新たな可能性について検討する。VR 百人一首かるたにおける札を取るプロセスは、いくつかの要素に分解できる。(1)和歌が読まれ始めてから、記憶をたよりに取るべき札を想起するプロセス、(2)配置されている複数の札から取るべき札を検索するプロセス、そして(3)その札に手を動かして触れるプロセスである。このう

Copyright is held by the authors.

* 津田塾大学, † ヤフー株式会社

ち最後の(3)のプロセスは、ヒューマンコンピュータインタラクション研究分野においてしばしば論じられる、入力インタフェースによるオブジェクトへのポインティングタスクとしてモデル化できるため、Fitts の法則などを応用したタスク完了時間の予測手法の適用が見込める。実験を通じた数理モデル解析により、VR 空間内での札のサイズ、手の大きさ、札までの距離を適切な範囲内で調整することにより、札を取る動作に必要な時間を制御する手法について検討する。またこのような変更がプレイヤー自身や対戦相手の知覚に与える影響について考察する。

本論文の構成は次の通りである。2 章で関連研究について述べ、3 章では実装した VR 百人一首かるたシステムについて説明する。次に 4 章で実験と解析について述べ、5 章で実験結果の意義、および今後の課題と展望について議論し、6 章でまとめを行う。

2 関連研究

2.1 インクルーシブなゲーム

対人ゲームをよりインクルーシブにするために様々な方法が検討されている。1 つはゲームのルールを変える、あるいは作る方法である。世界ゆるスポーツ協会が提案する「ゆるスポーツ」[2]は、様々なスポーツを年齢、性別、運動神経、障がいの有無に関わらず楽しめるようにしたものである。また、視覚情報を付加することで、スキルを補う方法もある。例えば、「きまり字かるた」[3]は、初心者にも使いやすい、各札に物理的に決まり字が印刷された百人一首の札である。またスポーツの分野でも、情報技術を用いてボールの軌道を予測し、可視化することで、初心者支援する例がある[4][5][6]。藤原ら[7]は、オンラインの対人ゲームにおける、色覚多様性者のプレイヤーの不利を軽減するための色の利用について論じた。これらの方法はより多様な人々がゲームを楽しめるようにすることを目標とする点で我々の研究と共通しているが、支援がプレイヤー全員に影響を及ぼすという点で我々の研究と異なる。本研究では、これらの支援も取り入れながら、VR を用いてプレイヤーのスキル運用に影響を与えにくい支援を検討する。

プレイヤーのスキル運用に影響を与えにくいスキル調整の例として、前川らの綱引きのシステム[8][9]がある。これはシステムから外力を介入させることでスキル調整を行うシステムである。本研究では VR を用いることで、さらに身体や物理法則の変更といった現実ではできない支援を行えるようにする。また、プレイヤー間の支援の違いをより知覚しにくくなり、プレイヤーの意識がスキル調整に向きにくくなる

ことが期待される。

築瀬らの研究[10][11]は、一人用のゲームにおける知覚困難な難易度調整の可能性を探究したものである。本研究では類似のコンセプトを対人ゲームのひとつである百人一首かるたに応用する。百人一首かるたのスキル調整においては、各プレイヤーの札を取る速度を定量化し、それらが拮抗するように調整する必要があるため、本研究で探究するような数理モデルが特に有用である。一方で、他の対人ゲームや一人用のゲームにおいてもそのような精緻な数理モデルが得られればスキル調整に活用することは可能かもしれない。

2.2 MR を活用したトレーニングと人間拡張

MR を用いることで、視聴覚情報を付加する支援が容易になる。例えば、体の使い方のイメージを視覚的に表現すること[12][13]や、プレイヤーの動きに対してフィードバックを行うこと[14]、環境の中の必要な情報を強調すること[15]、対戦相手の身体の動きを予測し、可視化すること[16]ができる。さらに VR では、現実世界では変更することができない設定も変更することができるため、技術を身に付けるためのトレーニングに利用されることも多い。例えば、重力などの力を操作したり[17][18][19][20]、時間を歪曲させたり[21][22]、速度認識を誤認させたり[23]することができる。これらは、スキルを身につけるためのトレーニングを行うことを目的としており、我々の研究とは目的が異なる。しかし、これらの研究で用いられている技術は、今後、プレイヤー間のスキル差を一時的に軽減するためにも用いることができると考える。

また VR を用いた人間拡張の例として、小川らの指の長さを変える研究[24]や、SUN らの腕の長さを変える研究[25]がある。これらも、研究の目的は異なるが、プレイヤーが違和感を感じない範囲内でこれらの技術を活用することは、一時的なスキル向上にも役立つと考える。

2.3 身体の動きを外部から制御する技術

身体の動きを外部から制御する技術は、対人ゲームにおけるスキル調整にも応用できる可能性がある。なぜなら、プレイヤーはトレーニングすることなく、一時的にゲームに必要な能力を発揮することが期待できるためである。EMS を用いて身体をコントロールする研究は複数存在する[26][27][28]。蛭子らの研究[29][30]もその一つである。これは、初心者でもすぐにドラムを演奏できるようにするものである。これらは学習を目標としている点で我々の研究とは異なるが、これらのシステムで利用されている仕組みを用いることで、初心者でもすぐに理想的な動作を行えるようにすることは、我々の研究においても

将来の展望として有望である。

2.4 情報技術による百人一首かるたの支援

情報技術による百人一首かるたの支援には、いくつかの方法が提案されている。北川ら[31]は競技かるたにおける払いの動作を、PoseNetを用いた姿勢推定によって可視化した。山田ら[32]は、手首に加速度、角速度センサを装着することで、現実の競技かるたの試合中の札取得タイミングの情報を得た。都丸ら[33]のように、決まり字を可視化することで、試合前の戦略立てを支援する研究もある。また百人一首の読み上げの音声を解析することで、それぞれの和歌の決まり字までの音響的な違いを示し、和歌の判別をより早く行える可能性を検討した研究[34][35]もある。これらは、かるたの選手が現実世界のかるたのスキルを向上させることを支援するものであり、経験者であるか初心者であるかを問わず、VRを用いたゲーム中にリアルタイムで支援を行う本研究とは目的が異なる。しかし、これらの研究の結果や示唆は、VRを用いたスキル調整としての支援にも役に立つ可能性があり、これからの研究の方向性の1つとして考えられる。徳島ら[36]はパソコン上で動作する百人一首かるたの学習システムを提案した。このシステムでは、ゲームが進行するにつれて徐々に変化する決まり字の動的特性を学習することができる。徳島らのシステムは1人用の学習用システムであるのに対し、本研究は可視化を利用したVRゲームのスキル調整である点が異なる。

2.5 ポインティングタスク

PCやスマートフォンを利用するうえで、オブジェクトの選択は最も頻繁に行われる操作であり、所要時間の推定モデルや操作を支援する手法が多く提案されている。よく知られた時間推定モデルには以下のFittsの法則がある。

$$MT = a + b \cdot ID, \quad ID = \log_2 \left(1 + \frac{D}{W} \right)$$

MT (Movement Time)は所要時間、 a と b は実験的に決まる回帰定数、 ID (Index of Difficulty)はタスクの難度指標、 D と W はオブジェクトまでの距離とサイズである。このモデルはVR空間内でコントローラ操作でポインティングをする場合にも適合することが知られている[37]。

Fittsの法則によれば、オブジェクトまでの距離 D を短縮するか、サイズ W を大きくすることで難度が下がり、より短時間で操作できる。これに基づいて、PC画面上のターゲット選択時間を短縮する手法が多く提案されている。例えばオブジェクトをカーソル付近まで自動的に近づける手法[38]やカーソルの近くにあるオブジェクトを拡大する手法[39]がある。またカーソルがオブジェクトにスナップする手法

[40]やカーソルがオブジェクトに吸い寄せられるように重力をかける手法[41]もある。上記のいずれも、VR内における百人一首かるたの難易度調整に活用しうが、例えば手を自動的に移動させるスナップや重力を使う方法では、プレイヤー視点では支援されていることが明確になる懸念がある。またVR空間において遠くのオブジェクトに手を伸ばすのを支援する手法として代表的なのがGo-go手法[42]であり、手が自然に届く範囲を超える位置にあるオブジェクトを操作したい場合に、二次関数的に手が伸びることでタスク難度を低減している。本研究で我々が採用するのは W を拡大することで難度を調整する方法である。先行研究では、オブジェクトのサイズを大きくする方法[39]と、カーソルのサイズを拡大する方法[43]のいずれも所要時間低減になると報告されている。VR内における百人一首かるたでは、それぞれ札と手の大きさを変更することに該当する。

3 システムの実装

我々は、これまでにUnityを用いて、2人用のVR百人一首かるたシステムを作成している[1]。VRを用いた互いに知覚困難なスキル調整を行うためのいくつかの支援を導入することで、百人一首を覚えていない、また札を取る動作に慣れていないプレイヤーから、百人一首を覚えており、日常にかるたをプレイしているプレイヤーまで、一緒に楽しめるゲームとすることを意図した。

実装では、Meta Quest2を使用した。VR空間では、Meta Quest2のコントローラがある位置に手のオブジェクトが表示され、キャリブレーションにより、実際の手の位置と手のオブジェクトの位置が同じになるように調整することができる。図2は実際のゲーム画面である。



図2 プレイ画面

4 実験

4.1 概要

VR百人一首かるたにおける札を取るプロセスの一部である、札に手を動かして触れるプロセスは、

Fitts の法則で分析可能な、オブジェクトへのポインティングタスクとみなすことができる。本章では VR 百人一首かるたシステム内で条件を変えながら札を取るのにかかった時間を測定することで、札を取るまでの時間に与える影響を検討し、以下の 2 つの仮説について検証する。(1)手で札を取る動作にかかる時間は、Fitts の法則のモデルに高い適合度を示す。すなわちターゲットである札の大きさや手の大きさ、札までの距離を VR 空間内で変えることが、札を取る早さに与える影響は予測可能である。(2) VR 内において、実物とは異なる大きさの手や札のオブジェクトに対しても、プレイヤーはかるたゲームを行う上で適切であると感ずる。

4.2.1. 概要

実験では、VR 空間内における手の大きさと札の大きさをそれぞれ変えながら、札を取るまでの時間とプレイヤーの適切感、すなわち手や札のサイズに関してプレイヤーの感じた適切さの度合いを検証する。今回は、それぞれ 5 通りの大きさの手と札を用いた。これらはそれぞれのオブジェクトにおいて 1.0 倍と規定する基準の大きさを定め、そのオブジェクトを拡大縮小したものである。具体的な拡大縮小の倍率は、0.8 倍、1.0 倍、1.3 倍、1.5 倍、1.75 倍の 5 通りである。図 3 は手の倍率を変えた様子である。このようにオブジェクトの倍率を変更することで、手の当たり判定の大きさも拡大縮小する。また、図 4 は札の倍率を変えた様子である。このようにオブジェクトの倍率を変更することで、札の当たり判定の大きさも拡大縮小する。

ここでは手の大きさについて 1.0 倍と規定する基準値を縦 20cm、横 10cm、同様に札の大きさについて、1.0 倍と規定する基準値を横 5.2cm、縦 7.3cm、に設定する。手の大きさの基準値は成人の平均的な手の大きさ[44]、札の大きさの基準値は、全日本かるた協会が定める競技かるたの札の大きさに基づいて定めた。



図 3 手の倍率を変えた様子



図 4 札の倍率を変えた様子

実験協力者として、かるた経験の多様な 28 名を集めた。実験では手と札の倍率を変えながら、1 枚の札が表示されてから、札を取るまでの時間を計測するタスクを複数回繰り返した。また、主観評価としてその際の手の大きさ・札の大きさがかかるたゲームを行う上で適切であると感ずたかについての 7 段階評価とその理由を述べる自由記述のアンケートを行った。図 5 は実験の様子と実験の画面である。

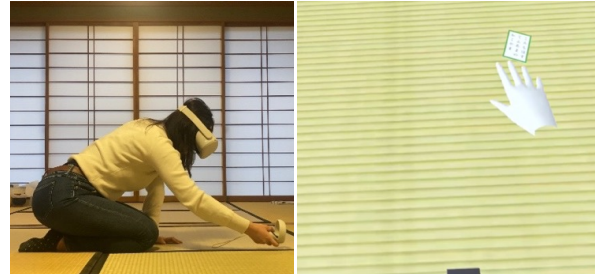


図 5 左:実験の様子, 右:実験の画面

4.2.2. 手順

まず、実験協力者にタスクの流れおよび操作方法を説明した。タスクは全部で 9 セッションあり、1 セッションごとに手の大きさと札の大きさが変わる。実験協力者ごとにその提示順はランダムに変化させた。実験協力者は 1 セッションが終わるごとに手の札の大きさについての主観評価を行う。それぞれのセッションで実験協力者は、ランダムな場所に表示された 1 枚の札に触る動作を 10 回繰り返す。実験協力者には、札が表示されたらすぐに VR 内の手で札に触ること、無駄な手の動きをしないことを依頼した。なお、札の表示範囲は、無理なく札を取ることができる範囲として、全日本かるた協会の定める競技線の範囲である横 87cm、縦 50.8cm の長方形内を採用した。実験は、実験協力者が Meta Quest2 のヘッドマウントディスプレイを装着したのち、実験協力者自身が開始ボタンを押して、開始した。5 セッションが終わった時点で任意の時間の休憩を挟んだ。

4.2.3. 結果と分析

2.5 節で述べた Fitts の法則について、手の中心の初期位置から札の中心までの距離を D 、札の横幅 W_{card} と手の横幅 W_{hand} の合計値を W [43][45]として回帰直線を求める。初期状態では手は床についており、札は表示していない。床に札を表示した瞬間に MT を計測開始する。ここでは手は縦長の楕円に近似して考え、その縦横比は 2:1 とした。

まず前処理として、実験で得られたデータのうち、四分位数の 1.5 倍以上外れたデータを外れ値として除去した[46]。[47]にならない、 ID について 0.2 ずつ区間を取り、各区間における ID と MT の平均値をその

区間の代表値としてプロットした。このとき 1 区間あたりのサンプルサイズが 9 以下のものは除外した。これらのデータから、最小二乗法で a および b を決定し、相関係数 R^2 を求めた。図 6 はそのグラフである。 $R^2 = 0.9896$ となり、Fitts の法則のモデルに高い適合度を示している。

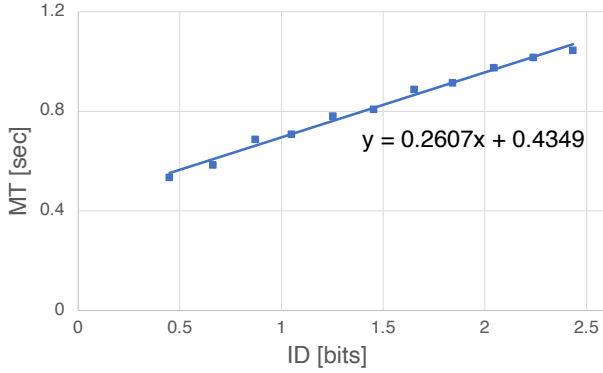


図 6 手と札の大きさを変えながら札を取った時の ID と MT

表 1, 表 2 は手および札の倍率を 0.8 倍, 1.0 倍, 1.3 倍, 1.5 倍, 1.75 倍にした時の, 手と札それぞれに対して実験協力者が適切であると感じた度合いの評価の 7 段階評価リッカート尺度 (1:適切でない, 7:適切である) の平均値を示した表である。いずれも極端に低い数値はなく, このような手や札の大きさの変更はある程度適切だと評価されることが見て取れる。さらに, より違和感のない保守的な変更の範囲を明らかにするため, 実物大 (1.0 倍) を基準として, 同等あるいはそれ以上に高評価を得たもののみを抽出することを以下のように試みた。手の評価を示した表 1 では手の実物大である 1.0 倍への評価を基準とし, それよりも評価が良好であるものに色をつけた。札の評価を示した表 2 では札の実物大である 1.0 倍への評価を基準とし, それよりも評価が良好であるものに色をつけた。表 3 は表 1 において手の評価が 1.0 倍よりも良好であり, かつ表 2 において札の評価が 1.0 倍よりも良好であるものを示した表である。

表 1 手と札の大きさがそれぞれ 0.8 倍, 1.0 倍, 1.3 倍, 1.5 倍, 1.75 倍のときの手の評価。実物大である 1.0 倍よりも高評価のセルには色をつけた。

手 \ 札	0.8倍	1.0倍	1.3倍	1.5倍	1.75倍
0.8倍	4.6	5.0	5.9	4.8	4.8
1.0倍	4.3	5.1	5.6	6.0	5.8
1.3倍	3.5	5.2	5.9	5.7	5.5
1.5倍	4.7	4.0	5.5	6.0	5.3
1.75倍	3.6	6.2	5.3	5.8	5.2

表 2 手と札の大きさがそれぞれ 0.8 倍, 1.0 倍, 1.3 倍, 1.5 倍, 1.75 倍のときの札の評価。実物大である 1.0 倍よりも高評価のセルには色をつけた。

手 \ 札	0.8倍	1.0倍	1.3倍	1.5倍	1.75倍
0.8倍	5.2	5.0	4.2	4.8	4.8
1.0倍	4.7	5.3	4.9	5.0	4.6
1.3倍	5.5	6.2	5.8	5.0	5.8
1.5倍	4.5	5.8	4.8	5.3	5.6
1.75倍	4.7	5.0	5.0	4.8	5.2

表 3 手の大きさも札の大きさも実物大よりも高評価であるセルに色をつけた。

手 \ 札	0.8倍	1.0倍	1.3倍	1.5倍	1.75倍
0.8倍					
1.0倍					
1.3倍					
1.5倍					
1.75倍					

4.2.4. 考察

実験より, 手で札を取る動作にかかる時間は, Fitts の法則のモデルに高い適合度を示した。よって, 手の大きさやターゲットである札の大きさ, 札までの距離を VR 空間内で変えることによる, 札を取る時間への影響は予測可能であることが示唆され, 仮説(1)は支持された。手および札の倍率を変更した時の, 手と札それぞれに対する実験協力者の適切感の評価より, 表 1 および表 2 で示されたような多様な条件下で極端には適切感とは低くならないという結果が得られた。特に表 3 に示した倍率の組み合わせについては手の大きさ, 札の大きさともに実物大の条件と同等あるいはそれ以上の適切感が得られており, 保守的にはこの条件下において仮説(2)は支持されたといえる。

なお, 適切感の理由を述べる自由記述アンケートでは, 回答として自分の記憶する実物の大きさとの一致度, 操作のしやすさ, 札の文字の見やすさが挙げられた。これらは適切感を考える上で重要な観点であると考えられる。記憶する実物の大きさとの一致度を評価基準とする人の中には, そもそも実物の大きさを正しく思い出せていないケースも複数あった。これにはかるたを行う際の目と手の距離や, 板口ら[48]の研究のように VR 空間内での物の大きさの捉え方が影響している可能性があり, 更なる調査が必要である。さらに, 今回手の大きさの基準値である 1.0 倍は成人の平均的な大きさを元に決めたが, それぞれの被験者の実際のサイズにすることで, よ

り適切な範囲を得ることができるだろう。

5 議論

5.1 実験結果のスキル調整への応用

以下に実験結果を踏まえ、VR 百人一首かるたにおけるスキル調整へと活用する展望を示す。検討に値するのは、札までの距離、札の大きさ、手の大きさを変更することによってMTを制御し、プレイヤー間における札に触れるまでにかかる時間差を小さくするスキル調整方法である。

まず、札までの距離を変更することでMTを調整できることから、札の散らばり具合、すなわち個々の札までの距離を制御することが考えられる。例えば、札の配置については対戦相手と同一なままで、プレイヤーの座る座標を調整することで札までの距離を変化させれば、スキル調整が可能であろう。また、札のサイズと手のサイズについても、実験で得られた適切だと感じられる条件下で変更することでMTを調整できると考えられる。

本実験で得られた回帰式は次のようになった。

$$MT = 0.4349 + 0.2607 \cdot \log_2 \left(1 + \frac{D}{W_{\text{card}} + W_{\text{hand}}} \right)$$

平均的なスキルを持ったプレイヤーが、競技かるたの競技線を参考に定める自然に手を伸ばせる範囲の中で最も遠い $D = 66.9\text{cm}$ 離れた位置にある札を取る時、通常 ($W_{\text{card}} = 5.2\text{cm}$, $W_{\text{hand}} = 10.0\text{cm}$) であれば $MT = 1.069$ 秒かかるが、札の大きさを 1.75 倍 ($W_{\text{card}} = 9.1\text{cm}$)、手の大きさを 1.5 倍 ($W_{\text{hand}} = 15.0\text{cm}$) にすれば $MT = 0.934$ 秒になると予測される。この結果から、我々は札の取得時間について 0 から 0.135 秒程度調整をすることが可能であるとわかる。我々の別の調査では、様々な条件下で和歌が読まれてから札を取るまでにかかる時間は経験者の場合で、平均 0.909 秒、標準偏差 0.301 秒であった [1]。これを百人一首かるたにおける札を取るまでにかかる時間についての一種の概算値として捉えたと、これらの平均値および標準偏差に対し、我々が平均的なスキルを持ったプレイヤーに対し調整できる 0~0.135 秒という値は無視できない割合を占める。これは提案手法のスキル調整手法としての有効性を示唆するものである。

なお、実際の活用時は、競技の事前に対戦相手とのスキル差を計測し、どの程度だけMTを調整すればスキルが釣り合うかを算出してゲームに反映させることを想定している。その際、今回の実験で調査して適切だとみなした手と札の大きさの倍率条件だけでなく、より多様に倍率条件を設定しMTを調整できるとスキル調整上、より都合がよい。そのためにはより多様な倍率条件における適切感の追加調査が必

要である。これは今後の課題である。

5.2 スキル調整とプレイヤーの知覚

前節で述べたスキル調整は、VR 空間において個々のプレイヤーごとに別の環境として提供することができることから、プレイヤー間で相互に存在が知覚されにくい状況での運用が期待できる。また、プレイヤー自身にも適切だと感じられる範囲で、かつ目立たない範囲でのパラメータ変更を行えば、プレイヤー自身にも存在が知覚されにくいスキル調整が可能かもしれない [10][11]。あるスキル調整を行うとき、それによって調整されたプレイヤーが相互に、さらにはプレイヤー自身にも知覚が難しいような状態が実現できるのであれば、それはスキル調整に対する気まづさや違和感の軽減につながるため、より望ましい状態といえる。このようなスキル調整の相互知覚困難性、および自己知覚困難性についての詳しい検証は今後の有望な研究課題である。

5.3 総合的な百人一首かるたのスキル調整へ向けて

百人一首かるたで札を取る 3 つのプロセス、すなわち (1)和歌が読まれ始めてから、記憶をたよりに取るべき札を想起するプロセス、(2)配置されている複数の札から取るべき札を検索するプロセス、そして (3)その札に手を動かして触れるプロセスのうち、本研究では (3)を検討した。(1)については先行研究 [1] で検討されている。(2)については今後の課題であるが、例えば VR を用いて、表示する札の枚数を一時的に少なく制限すれば、その中から正しい札を検索する作業は高速化できるだろう。このような取り組みを通じて、百人一首かるたにおける総合的なスキル調整方法として取りまとめていく予定である。

6 まとめ

本論文では百人一首かるたにおける新しいゲームスキル調整方法を検討した。協力者数 28 名の実験データの解析の結果、VR 百人一首かるたにおける手で札を取る動作は、Fitts の法則のモデルに $R^2 = 0.9896$ という高い適合度を示した。また、プレイヤーが適切だと感じられるパラメータ変更の条件を得た。この範囲で、手の大きさ、札の大きさ及び札までの距離を変更することは、百人一首かるたの試合に十分影響を与える調整量となり、札を取る所要時間を制御し対戦相手との拮抗に近づける手法として活用できる可能性が示唆された。パラメータ変更がプレイヤー自身や対戦相手の知覚に与える影響についてさらに探求することで、より望ましいスキル調整を行えることが期待できる。

謝辞

本研究の一部は、情報処理推進機構（IPA）の2023年度未踏IT人材発掘・育成事業の支援を受けて行われた。また、ユニティ・テクノロジーズ・ジャパン株式会社の築瀬洋平氏には有益な示唆を頂いた。謹んで感謝の意を表す。

参考文献

- [1] A. Maruyama and K. Kurihara. Mutually Imperceptible Skill Adjustment in VR for Making Hyakunin Isshu Karuta Inclusive. *Proceedings of IFIP ICEC'23*, 2023, in printing.
- [2] 世界ゆるスポーツ協会, YURU SPORTS. <https://yurusports.com> (2023/8/30 確認)
- [3] 株式会社 大石天狗堂, きまり字かるた. <https://www.tengudo.jp/100poems/competition/2528.html> (2023/8/30 確認)
- [4] E. Wu, H. Koike. FuturePong: Real-time Table Tennis Trajectory Forecasting using Pose Prediction Network. *Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20)*, pp. 1-8, Association for Computing Machinery, 2020.
- [5] H. Ishii, C. Wisneski, J. Orbanes, B. Chun, J. Paradiso. PingPongPlus: design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative play. *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. pp. 394-401, 1999.
- [6] K. Sato, Y. Sano, M. Otsuki, M. Oka, K. Kato. Augmented Recreational Volleyball Court: Supporting the Beginners' Landing Position Prediction Skill by Providing Peripheral Visual Feedback. In: *Proceedings of the 10th Augmented Human International Conference 2019*, pp. 1-9, 2019.
- [7] 藤原優花, 中村聡史. 色覚特性を考慮したゲームの有利不利制御の Among Us を用いた検証, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2022 論文集, Vol.2022, 120-128, 2022.
- [8] A. Maekawa, K. Kasahara, H. Saito, D. Uriu, G. Ganesh, M. Inami. The Tight Game: Implicit Force Intervention in Interpersonal Physical Interactions on Playing Tug of War. *SIGGRAPH '20 ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies, Article No.10*, pp. 1-2, 2020.
- [9] A. Maekawa, H. Saito, D. Uriu, K. Kasahara, M. Inami. Machine-Mediated Teaming: Mixture of Human and Machine in Physical Gaming Experience. *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1-11, 2022.
- [10] 築瀬洋平. 誰でも神プレイできるシューティングゲーム. WISS2013, 2013.
- [11] 築瀬洋平, 鳴海 拓志. 誰でも神プレイできるジャンプアクションゲーム. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 21 巻 3 号, pp. 415-422, 2016.
- [12] 鈴木湧登, 坂本大介, 小野哲雄. Gino.Aiki: 合気道の身体の使い方の習得を支援する MR ソフトウェア. WISS2022, 2022.
- [13] 坂名 純太, 土田 修平, 寺田 努, 塚本 昌彦. 歌唱時に高音の発声ができるようになる VR 映像の提案と評価.WISS 第 29 回インタラクティブ システムとソフトウェアに関するワークショップ. pp.16-22, 2021.
- [14] K. Masai, T. Kajiyama, T. Muramatsu, M. Sugimoto, T. Kimura. Virtual Reality Sonification Training System Can Improve a Novice's Forehand Return of Serve in Tennis. *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, pp. 845-849, 2022.
- [15] E. Wu, M. Piekenbrock, T. Nakamura, H. Koike. SPinPong - Virtual Reality Table Tennis Skill Acquisition using Visual, Haptic and Temporal Cues. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, pp. 2566-2576, 2021.
- [16] E. Wu, H. Koike. FuturePose - Mixed Reality Martial Arts Training Using Real-Time 3D Human Pose Forecasting With an RGB Camera. *2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV)*, pp. 1384-1392, 2019.
- [17] H. Kawasaki et al. CanKendama: A System for Supporting Users to Master Kendama Tricks through a Few Minutes of VR Training. *Proceedings of IPSJ Entertainment Computing*, pp. 26-32, 2020.
- [18] H. Kawasaki, S. Wakisaka, H. Saito, A. Hiyama, M. Inami. A System for Augmenting Humans' ability to Learn Kendama Tricks through Virtual Reality Training. *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2022 (AHs '22)*, pp. 152-161, 2022.
- [19] J. Adolf, P. Kán, B. Outram, H. Kaufmann, J. Doležal, L. Lhotská. Juggling in VR: Advantages of Immersive Virtual Reality in Juggling Learning. *25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (Parramatta, NSW, Australia) (VRST '19)*, pp. 1-5, 2019.

- [20] S. Jiang, J. Rekimoto. Mediated-timescale learning: Manipulating timescales in virtual reality to improve real-world tennis forehand volley. *26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, pp. 1–2, 2020.
- [21] 松本 高, E. Wu, 小池 英樹. 時間歪曲機能を用いた VR スキートレーニングの拡張. WISS2021, pp.64–70, 2021.
- [22] T. Matsumoto, E. Wu, and H. Koike. Skiing, Fast and Slow: Evaluation of Time Distortion for VR Ski Training. *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2022 (AHs '22)*, pp. 142–151, 2022.
- [23] M. Löchtefeld, A. Krüger, H. Gellersen. DeceptiBike: Assessing the Perception of Speed Deception in a Virtual Reality Training Bike System. *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (Gothenburg, Sweden) (NordiCHI '16)*. Article40, pp. 1-10, 2016.
- [24] 小川奈美, 伴祐樹, 櫻井翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝. えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム, インタラクシオン 2016 論文集. pp. 1022-1027, 2016.
- [25] SUNHONG, 柴田史久, 木村朝子. 仮想空間における上肢伸長感覚の誘発要因の分析, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクシオン (HCI), 2018.22, pp. 1-6, 2018.
- [26] S. Faltaous, T. Winkler, C. Schneegass, U. Gruenefeld, S. Schneegass. Understanding Challenges and Opportunities of Technology-Supported Sign Language Learning. *Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2022 (AHs '22)*, pp. 15–25, 2022.
- [27] S. Kasahara, J. Nishida, P. Lopes. Preemptive Action: Accelerating Human Reaction using Electrical Muscle Stimulation Without Compromising Agency. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19)*, Paper 643, pp. 1–15, 2019.
- [28] A. Takahashi, J. Brooks, H. Kajimoto, P. Lopes. Increasing Electrical Muscle Stimulation's Dexterity by means of Back of the Hand Actuation. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)*, Article 216, pp. 1–12, 2021.
- [29] A. Ebisu, S. Hashizume, K. Suzuki, A. Ishii, M. Sakashita, Y. Ochiai. Stimulated Percussions: Techniques for Controlling Human as Percussive Musical Instrument by Using Electrical Muscle Stimulation. *SIGGRAPH ASIA 2016 Posters (SA '16)*, Article 37, pp. 1-2, 2016.
- [30] A. Ebisu, S. Hashizume, K. Suzuki, A. Ishii, M. Sakashita, Y. Ochiai. Stimulated percussions: method to control human for learning music by using electrical muscle stimulation. *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference (AH '17)*, Article 33, pp. 1–5, 2017.
- [31] 北川リサ, 伊藤貴之. 競技かるたにおける払いの動作の可視化, 研究報告ヒューマンコンピュータインタラクシオン (HCI), pp. 1-7, 2022.
- [32] 山田浩史, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦. 競技かるたにおける手首動作に基づく札取得タイミング推定手法の提案, インタラクシオン 2015 論文集, pp. 969-971, 2015.
- [33] 都丸幸浩, 藤岡優, 安本匡佑, 羽田久一, 太田高志. 競技かるたの札の配置を行うインタラクティブコンテンツ, 第 75 回全国大会講演論文集 2013.1, pp. 255-256, 2013.
- [34] 松田孟留. 競技かるたの決まり字に関する統計的解析, 応用統計学 49.1, pp. 1-11, 2020.
- [35] 武田昌一, 長谷川優, 津久井勲, 桐生昭吾. 小倉百人一首競技かるた選手の出札認識タイミングの聴取実験による計測と音響の手がかりの推定, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.114, pp. 141-146, 2015.
- [36] 徳島智春, 曾我真人. 競技かるたにおける決まり字変化シミュレーションシステムの構築, 人工知能学会全国大会論文集, 第 32 回, 2018.
- [37] D. Yu, H. Liang, X. Lu, K. Fan, and B. Ens. Modeling endpoint distribution of pointing selection tasks in virtual reality environments. *ACM Transactions on Graphics*, Vol.38, 6, Article 218, pp. 1-13, 2019.
- [38] P. Baudisch, E. Cutrell, M. Czerwinski, D. Robbins, P. Tandler, B. Bederson, A. Zierlinger. Drag-and-Pop and Drag-and-Pick: Techniques for Accessing Remote Screen Content on Touch-and Pen-Operated Systems. *Interact*, 3, pp.57-64, 2003.
- [39] M. McGuffin and R. Balakrishnan. Fitts' law and expanding targets: Experimental studies and designs for user interfaces. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, pp. 388-422, 2005.
- [40] P. Baudisch, E. Cutrell, K. Hinckley, and A. Eversole. Snap-and-go: helping users align objects without the modality of traditional snapping. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. Association for Computing Machinery, pp.301–310, 2005.
- [41] D. Ahlström. Modeling and improving selection in cascading pull-down menus using Fitts' law, the

- steering law and force fields. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. Association for Computing Machinery, pp. 61–70, 2005.
- [42] I. Poupyrev, M. Billinghurst, S. Weghorst, and T. Ichikawa. The go-go interaction technique: non-linear mapping for direct manipulation in VR. *Proceedings of the 9th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '96)*. Association for Computing Machinery, pp. 79–80, 1996.
- [43] T. Grossman and R. Balakrishnan. The bubble cursor: enhancing target acquisition by dynamic resizing of the cursor's activation area. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*. Association for Computing Machinery, pp. 281–290, 2005.
- [44] NASA, MAN-SYSTEMS INTEGRATION STANDARDS, <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm> (2023/8/29 確認)
- [45] I. Scott MacKenzie and W. Buxton. Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '92)*. Association for Computing Machinery, pp. 219–226, 1992.
- [46] D.Saffro, S.D.Bartolomeo, C.Yildirim, C.Dunne. Remote and Collaborative Virtual Reality Experiments via Social VR Platforms. *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21)*. Association for Computing Machinery, No.:523, pp. 1-15, 2021.
- [47] M. Nancel, E.Lank. Modeling User Performance on Curved Constrained Paths, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17)*. Association for Computing Machinery, pp. 244-254, 2017.
- [48] Y. Itaguchi. Size Perception Bias and Reach-to-Grasp Kinematics: An Exploratory Study on the Virtual Hand with a Consumer Immersive Virtual-Reality Device. *Frontiers in Virtual Reality*, 2, 2021.

未来ビジョン

他の対人ゲームへの知見の適用

百人一首かるたはプレイヤー同士のインタラクションが少なく、札をとる時間を最小化するというゲームの目標がシンプルであるなどの特徴があり、支援をプレイヤーごとに非均等、非対称に設定しても、それらが独立に個々のプレイヤーにのみ作用しやすく、VRを用いたスキル調整が比較的行いやすいゲームであるといえる。百人一首かるたと似たような特徴を内包する他の対人ゲームを探索すれば、本研究で得た知見を直接的に応用することができるだろう。そのような事例の収集を通じて、対人ゲームの持つ特徴に応じた適切なスキル調整の提案のノウハウを蓄積していきたい。

よりインクルーシブな百人一首かるたの実現

より多様な人が百人一首かるたを楽しめるように、支援の幅を広げたい。障がいへの対応としては、例えば歌の読み上げなどの聴覚情報を視覚情報として提示することで、聴覚障がいへの対応が可能になると考える。また、提示する色情報をプレイヤーごとに調整することで、色覚多様性への対応も可能になるだろう。さらに、多言語対応機能を実装することで、非日本語話者も一緒に百人一首かるたを楽しむことがより容易になることが期待される。

なお、特に競争的な対人ゲームにおいては、多様な特徴を持った人々が参画できたとしても、参画意欲を維持するには適切なスキル調整が必要不可欠であろう。本論文で得られた知見はその実現に貢献するものである。