

# VR を用いた互いに知覚困難なスキル調整による百人一首かるたのインクルーシブ化の検討

丸山礼華<sup>†1</sup> 栗原一貴<sup>†1</sup>

本論文では百人一首かるたを対象に、「VR を用いた互いに知覚困難なスキル調整」を提案する。これは視聴覚情報をプレイヤーごとに変え、それぞれに異なる支援を行うことによるスキル調整である。支援の相手環境への影響を小さくすることで、相手のスキルセットへの影響を小さくし、あまり意識させずにスキル調整を行えることが期待できる。評価実験より、複数の互いに知覚困難な視聴覚支援を組み合わせることで、初心者のパフォーマンスを大きく改善できる可能性が示唆された。

## 1. はじめに

対人ゲームのインクルーシブ化において重要な観点の一つは、適切なスキル調整である。対人ゲームにおいて、あるプレイヤーが他のプレイヤーよりも明らかに有利である場合に、ハンディキャップ（以下ハンデと記す）を導入してスキル調整を行うことは一般的である。スキル調整を行うことで、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継続の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、既存のスキル調整の主な方法は、あらかじめ差をつけた状態からの開始やルール的大幅な変更、有利な側のプレイヤーへの制限などである。そのため、プレイヤーは実力を十分に発揮することが難しい。例えば、ルールを大幅に変更するスキル調整は、ハンデを与える側、貰う側の双方が、普段とは異なる身体の使い方や戦略でプレイせざるを得なくなり、やりづらさを感じる可能性がある。また、より強いプレイヤーの実力を制限するハンデは、双方がプレイ中にハンデの存在を意識せざるを得なくなる。そうするとハンデを貰った側が申し訳なさを感じたり、ハンデを与えた側が相手との実力差をより調整しようと遠慮してしまったりする。このような物理的・心理的な影響によって、プレイヤーが実力を発揮しづらくなると、一緒にゲームをする時間に楽しさを感じるようになる。これでは、互角の勝負ができるとしても、良いスキル調整であるとは言えないだろう。

プレイヤーが身につけているスキルセットにあまり影響を与えず、知覚することすら困難なスキル調整が可能であれば、それは理想的である。本研究ではその第一歩として、「VR を用いた互いに知覚困難なスキル調整」を提案する。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。支援が相手の環境に与える影響も小さくす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セットに与える影響を

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えることを意図する。

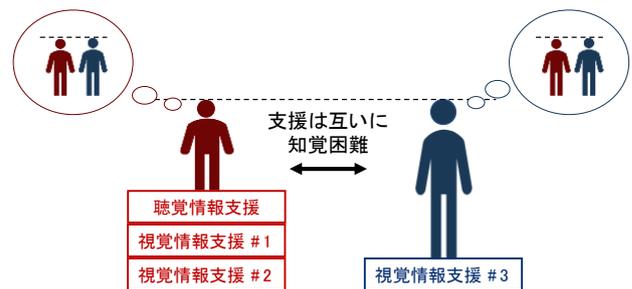


図 1 VR におけるスキル調整。異なるスキル支援を受けることで、プレイヤーは対戦相手も自分と同程度の実力であると錯覚できる。

本論文で対象とする対人ゲームは、百人一首を用いたかるたである。百人一首は、100 人の歌人が詠んだ和歌から成る。百人一首かるたは、百人一首を用いたゲームで、百人一首の和歌の後半部分が書かれた札を用いてプレイする。プレイヤーは、読み手が読み上げた歌に対応する和歌の札にできるだけ早く触る。一番早く札に触ったプレイヤーの取りとなり、最終的に最も多くの札を集めたプレイヤーの勝ちである。百人一首かるたは、学校の授業や家庭での遊び、百人一首かるたの大会などで盛んに行われている。また、これをより競技的なルールにした「競技かるた」をプレイする人も多い。一方で、和歌を覚えているか、札を取る動作に慣れているかによって、札を取る早さに大きく差が出るという一面もある。このような特徴から、適切なスキル調整を行うことで、より多くの人と一緒に百人一首かるたを楽しむことができるようになると思われる。

本論文の構成は次の通りである。3 章で関連研究について述べ、4 章では互いに知覚困難なスキル調整を百人一首かるたに適用したシステムについて説明する。次に 5 章で評価について述べ、6 章で今後の課題と展望について議論し、7 章でまとめを行う。

<sup>†1</sup> 津田塾大学  
Tsuda University

## 2. 百人一首かるた

### 2.1 百人一首かるたで用いられる用語と「決まり字」

百人一首は 100 首の和歌からなる。それぞれの歌は 5・7・5・7・7 の 31 字で構成される。始めの 5・7・5 の部分を「上の句」、その後の 7・7 の部分を「下の句」と呼ぶ。かるたゲームで用いられる札には、それぞれの「下の句」のみが書かれている。

百人一首かるたでは、それぞれの歌の「決まり字」を覚えることで早く札を取ることができる。決まり字とは、100 首の中のどの歌が読み上げられているのかを判断するために必要な文字のことである。例えば、「は」から始まる歌は 4 つあるので、最初の「は」だけが読み上げられた時点ではどの歌が読まれているのかが判断できない。しかし、最初の 3 文字「はるす」が読み上げられれば、「はるす」から始まる歌は 1 つしかないので、読み上げられている歌を特定することができる。この「はるす」に当たるのが決まり字である。文字の数は、読み上げるのにかかる時間の長さにおおよそ比例しているため、この決まり字の文字数が札を早く特定するための重要な要素となる。決まり字が 1 文字の歌を「1 字決まり」、2 文字の札を「2 字決まり」などと呼び、もっとも長いのは 6 字決まりである。それぞれの歌はゲームの中で 1 度だけ読み上げられるので、歌が読まれるたびに、次に読み上げられ得る歌の数が減り、歌の決まり字が変化する。

### 2.2 ゲームの進行

百人一首かるたのゲームは以下のように進行する。まず、百人一首が書かれた 100 枚の札のうち任意の枚数を、机や床にランダムに並べる。ゲームが開始すると、100 首の中からランダムに歌が読み上げられる。それぞれの歌は、上の句、下の句の順で読み上げられる。読み上げられた歌が書かれた札に一番先に触れたプレイヤーが札を取ったことになる。場の札が 0 枚になるとゲームが終了し、最も多くの札を取ったプレイヤーの勝ちとなる。

## 3. 関連研究

### 3.1 対人ゲームのインクルーシブ化

対人ゲームをインクルーシブ化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。ゆるスポーツが提案する「ゆるスポーツ」[1]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」[2]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や相手の身体の動きを予測し、可視化することで、初心者を支援する例がある[3][4][5][6]。藤原らは、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[7]。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 を用いて他のプレイヤーのスキルセット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セット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のが期待される。

### 3.2 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、歌唱や合気道において体の使い方のイメージを視覚的に表現すること[10][11]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[12]、ボールの回転などの必要な情報を強調すること[13]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[14][15][16][17]、時間を歪曲させたり[18][19]、速度認識を誤認させたり[20]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や、SUN らの腕の長さを変える研究がある[21][22]。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。

### 3.3 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には、[23][24][25][26][27]がある。蛭子らの研究[26][27]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。

### 3.4 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[28]。山田らは、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[29]。都丸らのように、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[30]。また百人一首の読み上げの音声解析することで、それぞれの歌の決まり字までの音響的な違いを示し、歌の判別をより早く行える可能性を検討した研究もある[31][32]。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[33]。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。決まり字の動的変化を可視化する点は共通しているが、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。

## 4. システムの実装

### 4.1 システム概要

我々は、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た。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した。

実装にあたっては、手の座標と角度を正しく取得できること、およびプレイヤーそれぞれの視覚・聴覚から得られる情報を変えられることが重要である。その両方を満たすデバイスとしてMeta Quest2を使用した。Meta Quest2のコントローラは手に持ちやすいように作られているのに対して、かるたは手を使って行う競技である。そこで、コントローラを腕につけるためのアタッチメントを3Dプリンタで作成した(図2)。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3は実際のゲーム画面である。

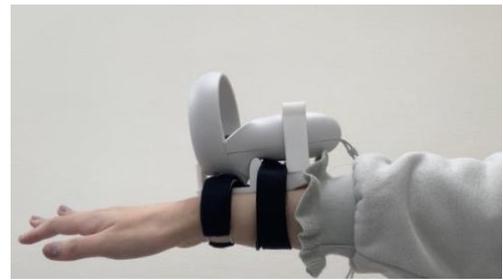


図2 Meta Quest2 コントローラ 腕アタッチメントにコントローラを装着し、杉綾テープと面ファスナーで腕に取り付けた様子

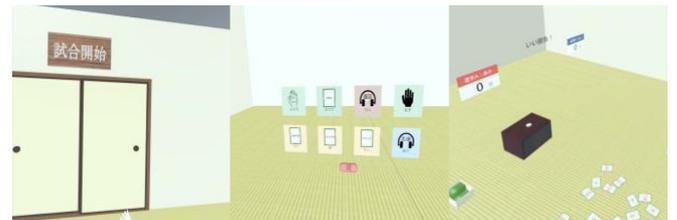


図3 ゲームの画面

### 4.2 VRを用いた互いに知覚困難なスキル調整の実装

本システムでは、視覚情報および聴覚情報を扱う様々な機能を、VRを用いた互いに知覚困難なスキル調整として実装した。実装した機能のうち、まず視覚情報を扱うものについて述べる。今回実装したのは、支援文字の表示による視覚情報の調整である。この調整は支援されるプレイヤーの画面のみに反映され、他のプレイヤーには影響がない。支援文字の表示手法としては、歌が持つ本来の決まり字を静的に表示する手法と、ゲームの中での決まり字の変化に対応させて動的に表示する手法の2種類がある。本論文では、それぞれを静的決まり字表示、動的決まり字表示と呼ぶ。図4は、「はるす」という3文字の決まり字を持つ「春すぎで夏来にけらし 白妙の衣ほすてふ 天の香具山」の歌において、動的決まり字表示を行なった際の、歌の決まり字の変化を表したものである。最初は本来の決まり字「はるす」が表示されていたが、他の歌が読まれるにつれて歌の特定に必要な文字数が減少し、決まり字は「はる」、「は」と変化している。図5はスキル調整を適用した時の2人のプレイヤーのゲーム画面である。左の画像は支援として動的決まり字表示を使用したプレイヤーのゲーム画面、右が支援なしのプレイヤーのゲーム画面である。



図4 ゲームが進むにつれて動的に決まり字表示が変化様子

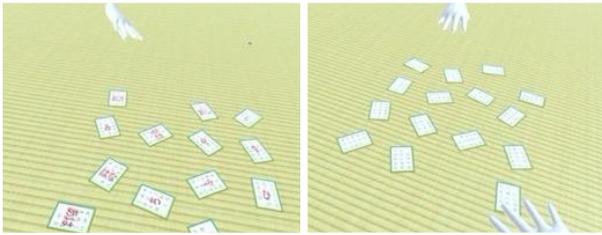


図5 2人のプレイヤーの見える画面の違い（左：動的決まり字表示の支援をしたプレイヤーのゲーム画面，右：支援なしのプレイヤーのゲーム画面）

次に実装した機能のうち、聴覚情報を扱うものについて述べる。今回実装したのは、ゲーム中の音声による応援の有無、図6のような読み上げのタイミングの変更による調整である。プレイヤーは早く歌を聞くことで、早く札を探し始めることができ、早く札を取ることができる。これらは双方のプレイヤーがイヤホンを用いることで、相手に知覚が困難な調整となる。声援による応援の支援においても、一方のプレイヤーのHMDでのみ音声を流すことで、一方のプレイヤーの感情にのみ影響を与えられる。

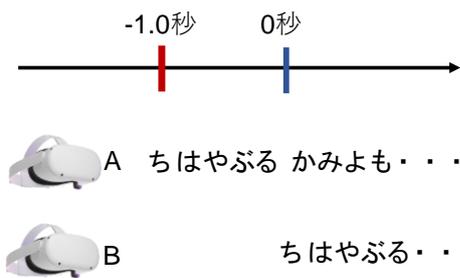


図6 プレイヤーによって音のタイミングが変化の様子

## 5. 評価

### 5.1 仮説

提案したスキル調整手法の有効性評価するために、評価実験を行った。前章で述べたプロトタイプシステムで実装された主たるスキル調整方法は、視覚の支援については決まり字表示であり、聴覚の支援については歌の読み上げ開始タイミングの調整である。後者のタイミング調整の方法はスキル支援としての効果が比較的自明であると言える。対して、前者の決まり字表示はその効果が自明ではないので、この効果を検証する。具体的には、(1)初心者は、静的決まり字表示あるいは動的決まり字表示の両方から効果が得られ、特に決まり字数が多いときには動的決まり字表示のほうが優れたパフォーマンスとなる、(2)動的決まり字表示を初心者にを行うことによって、経験者と同等のパフォーマンスを発揮することが可能になる、という2つの仮説を実験によって検証する。

### 5.2 評価実験

#### 5.2.1. 概要

実験では、初心者に決まり字の表示をすることのスキル支援としての有効性、2つの表示方法による違いを検証する。また、決まり字表示を行った初心者のパフォーマンスと決まり字表示を行わなかった経験者のパフォーマンスの比較を行う。ここでは、静的決まり字表示をした札を使用することをS条件、動的決まり字表示をした札を使用することをD条件、表示のない札を使用することをC条件とする。図7は実験の様子と実験の画面である。なお、実験協力者は30名である。

実験協力者は、日常的に百人一首かるたをプレイしていない「初心者」の組21人と、日常的に百人一首かるたをプレイしている「経験者」の組9人に分けられた。経験者の組は、9人全員がかるた会に所属している人であった。初心者の組は、S条件、D条件で札を取り、それぞれの歌が読み上げられ始めてから、札を触るまでにかかった時間を計測した。経験者の組は、C条件で札を取り、それぞれの札が読み上げられ始めてから、札を触るまでにかかった時間を計測した。



図7 左：実験の様子，右：実験の画面

#### 5.2.2. 手順

まず、百人一首かるたの経験についてのアンケートを行い、次に経験に応じて一連の札の取得タスクを実施した。初心者の組の実験では、S条件、D条件の2つの条件を用いた。どちらの条件を先に用いるかは、ランダムで決定した。また、札については、2字決まり、3字決まり、4字決まり、6字決まりの歌からなる2つの札組A、Bを使用した。これらの4種類の長さの決まり字を選んだ理由は次の3つである。(1)百人一首の決まり字は1~6字決まりのいずれかである、(2)1字決まりはS条件とD条件の表示が同じであるため含めない、(3)5字決まりは1組しかなく、札組を2つ作れないため含めない。どちらの札組を先に使用するかについては実験協力者ごとにランダムで決定した。経験者の組の実験では、C条件の札組Aを使用した。

実験協力者は課題の流れ、決まり字の表示の意味、歌の読み上げ方、ゲームの状況設定について説明書を読んだ。その後、決まり字と歌の読み上げ方についての説明を再度口頭で受けた。

ゲームの状況設定は次の通りである。これはゲームの途中であるものとする。標準的なルールに従って、場に札がある歌以外も読み上げられる。既に読まれた歌は札組Aでは15枚、札組Bでは13枚である。場には札組A、Bのい

ずれかの4枚の札があり、本来の決まり字の長さは多様である。しかし、今回の条件下では、決まり字に関する知識を十分に持っている、場にある4枚が全て動的に1字決まりに変化している、すなわち始めの1文字を聞いた時点で取るべき札が特定できる。経験者の組の実験協力者は、全員がその知識を持っていたため、始めの1文字を聞いた時点で札を取りに行くことができる。

図8は、初心者の組の実験協力者の札が見え方を示している。この条件下では全ての札が動的に1字決まりとなるため、D条件では各札の1文字目だけが表示されている。そのため、初心者の組の実験協力者は歌の始めの1文字を聞いた時点で取るべき札が特定できる。一方でS条件では、状況によらない本来の決まり字が表示されているため、初心者の組の実験協力者は、歌が読み上げられたときに、何文字読み上げられた時点で札が特定されるのかが不明な状態でプレイすることになる。

実験協力者がVR内の百人一首再生機器「ありあけ」を模したオブジェクトに触れると、歌の読み上げ音声の再生が始まった。読み上げは、全日本かるた協会の競技かるたのルールに規定される、前の歌の下の句が読まれた後に、次の歌の上の句が読まれる形式を採用した。つまり、歌の上の句のみを聞いて、対応する下の句が書かれた札を見つける必要がある。



図8 S条件とD条件。黒字は歌の下の句を表し、赤字は決まり字を表す。

### 5.2.3. 結果と分析

図9はS条件とD条件において、初心者の組の札の平均所要時間と標準偏差を決まり字の長さ別に表したものである。対応のあるt検定を行ったところ、3字決まり、4字決まり、6字決まりにおいてそれぞれに有意差が認められ ( $p<0.05$ )、2字決まりにおいては有意差が認められなかった ( $p=0.812$ )。また、初心者の組のD条件の場合の全体の札の取得の所要時間の平均は1.40秒、標準偏差は0.494となり、経験者の組のC条件での札の取得の所要時間の平均は0.909秒、標準偏差0.301であった(図10)。なお、明らかに異常な数値は外れ値として分析から除外した。

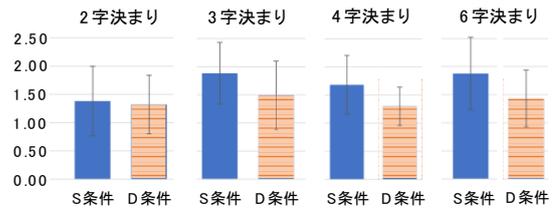


図9 札の取得までの平均所要時間の平均値と標準偏差。S条件での初心者の組(青)、D条件の初心者の組(橙)。

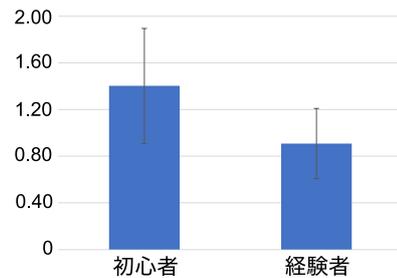


図10 札の取得までの平均所要時間の平均値と標準偏差。左：D条件での初心者の組、右：C条件での経験者の組。

### 5.3 考察

まず仮説(1)について検証する。初心者の組の実験協力者はほとんど歌を覚えていなかったが、実験において札に決まり字表示をすると、歌の前半部分「上の句」の一部を聞いただけで、後半部分「下の句」の書かれた札を取ることができた。これは決まり字表示によってスキル支援が可能であることを示している。また、3字決まり、4字決まり、6字決まりにおいて、S条件よりもD条件の方がよりその効果が有意に大きいことが示された。一方で、2字決まりにおいては、有意差は見られなかった。これは、2字決まりにおけるS条件と変化後のD条件の表示文字数の差が1文字と、小さかったためであると推測される。以上の議論より、仮説(1)は支持された。

今回の実験では、すべての札が始めの1文字を聞いた時点で札を取りに行くことができる状況を設定した。これはS条件とD条件の表示文字数の差が最大化し、効果の差が顕著に出やすい理想的な状況であったといえる。しかしこのような状況は一般的にゲームの進行によって残りの札数が少なくなった場合によく見られる状況であり、現実的な設定であったと考えられる。

なお、6字決まりのケースにおいても、D条件の方がS条件の方よりも時間がかかる例があった。実験後のコメントで、表示される文字数が多い方が、聞いた文字と比較できる文字数が多く、確信を持って札を取れるという意見が複数得られた。歌を全て覚えていない初心者のプレイヤーにとっては、決まり字の部分だけが札を確信するための情報

になるため、表示される文字数が少ないと、札を取ることをためらうことが推測される。一方、歌を覚えているプレイヤーは、決まり字を聞いた後に歌の続きを聞いて、どの歌が読み上げられているのかを確認できる。

この問題を解決するために新たな決まり字表示手法を以下に考案する(図11)。左がS条件、中央がD条件、右は歌の始めの6文字を表示した上で、D条件部分を文字の色と太さで強調した新しい支援の表示手法である。この方法では、決まり字の情報と上の句の情報の提示が同時に表示される。これによって、プレイヤーは決まり字を意識した上で、確信を持って札を取ることができるようになるのではないかと考える。



図11 3種類の決まり字の表示 (左:S条件, 中央:D条件, 右:新たな文字の表示)

次に仮説(2)について検証する。D条件を行った初心者の平均取得時間と経験者の平均取得時間との間にはまだ無視できない差が見られることから、仮説(2)は支持されなかった。初心者の組は決まり字表示によって、札を取る時間を大きく縮めることが可能であったが、より強い効果をもつD条件での支援でも両者の差を十分には埋められなかった。これは、札を取る身体動作の速度の違いなど、熟練度による別の要因であると推測される。これに対し、大きく時間を縮められる決まり字の表示の支援に加えて、他の支援を行うことで、より良いスキル調整になると考えられる。例えば、初心者のプレイヤーは読み上げタイミングを早める聴覚情報の支援を合わせて用いることで、スキル差を埋めることができるかもしれない。また、それぞれのプレイヤーごとに札を取る平均時間を予め取得し活用すれば、より正確にスキル差を埋めることができるかもしれない。この点についてはさらなる研究が必要である。

## 6. 今後の課題と展望

### 6.1 他の対人ゲームへの適用

VRを用いた互いに知覚困難なスキル調整を実現する上では、スキル調整のための支援が他のプレイヤーに与える影響が小さいことが重要である。ある支援の適用が他のプレイヤーに何らかの副作用を与える場合、支援をプレイヤーごとに独立に設定することが難しくなるためである。例えば、卓球において球の速さは重要な要素の1つであり、これをプレイヤーごとに変化させることはスキル調整として有効で

ある。しかし、相手コートにおける球の速さと自分のコートにおける球の速さが異なっていると、プレイヤーはそれを知覚しやすく、またいつもと違う感覚にプレイがしづらくなることもある。

一方でVRを用いた百人一首かるたは、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を用いた互いに知覚困難なスキル調整が比較的行き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持つ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。

### 6.2 調整されたプレイヤー自身ですら知覚困難なスキル調整

本論文では、主に他のプレイヤーに知覚が困難であるという観点で、互いに知覚困難なスキル調整を議論してきた。しかし、調整されたプレイヤー自身にも知覚が困難であるような、あるいは違和感が少ないスキル調整が行えるのであれば、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、魅力的な選択肢であると言える。今回のプロトタイプで実装した、歌の読み上げのタイミングを変更する聴覚的な支援は、そのような性質をもつスキル調整の一つである。視覚的な支援においても、たとえばVR空間内での札のサイズや手の大きさ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無自覚的に減少させることができる可能性がある。VR空間内での札をとるタスクは、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、フィッツの法則などを応用したタスク完了時間の減少手法の適用が見込めるからである。

### 6.3 よりインクルーシブな百人一首かるたに向けて

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、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、VR内の色を調整することで、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。

## 7. まとめ

本研究では、対人ゲームのインクルーシブ化に向けて、プレイヤーが相互に知覚しにくいスキル調整である「VRにおける互いに知覚困難なスキル調整」を提案した。また、視覚・聴覚情報にVRにおける互いに知覚困難なスキル調整を適用したVR百人一首かるたシステムを試作した。ま

た、視覚情報の支援の1つである決まり字表示が初心者に有効かどうか、およびより効果的な表示方法は何かを検証するため、評価実験を行った。その結果、決まり字の表示によって、初心者が札を取得するのにかかる時間を大きく縮めることが可能であること、および決まり字の動的な表示がより効果的であることが示唆された。この支援を他の支援と組み合わせることで、初心者でも経験者と同程度のパフォーマンスを発揮できる可能性がある。今後はVRを用いた知覚困難なスキル調整についてさらに検討するとともに、他の対人ゲームのインクルーシブ化についても検討したい。

**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。

## 参考文献

- 1) 世界ゆるスポーツ協会 YURU SPORTS  
<https://yurusports.com/event>（参照日：2023/6/9）
- 2) 株式会社 大石天狗堂: きまり字かるた  
<https://www.tengudo.jp/100poems/competition/2528.html>（参照日：2023/6/9）
- 3) Wu, E., Koike, H.: FuturePong: Real-time Table Tennis Trajectory Forecasting using Pose Prediction Network. In: Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20), pp. 1-8, Association for Computing Machinery (2020).
- 4) Wu, E., Koike, H.: FuturePose - Mixed Reality Martial Arts Training Using Real-Time 3D Human Pose Forecasting With an RGB Camera. In: 2019 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision (WACV), pp. 1384-1392 (2019).
- 5) Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B., Paradiso, J.: PingPongPlus: design of an athletic-tangible interface for computer-supported cooperative play. In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems. pp. 394-401 (1999).
- 6) Sato, K., Sano, Y., Otsuki, M., Oka, M., Kato, K.: 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) Maekawa, A., Kasahara, K., Saito, H., Uriu, D., Ganesh, G., Inami, M.: The Tight Game: Implicit Force Intervention in Interpersonal Physical Interactions on Playing Tug of War. In: SIGGRAPH '20 ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies, Article No.10, pp. 1-2 (2020).
- 9) Maekawa, A., Saito, H., Uriu, D., Kasahara, K., Inami, M.: Machine-Mediated Teaming: Mixture of Human and Machine in Physical Gaming Experience. In: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 1-11 (2022).
- 10) 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)
- 11) 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).
- 12) Masai, K., Kajiyama, T., Muramatsu, T., Sugimoto, M., Kimura, T.: Virtual Reality Sonification Training System Can Improve a Novice's Forehand Return of Serve in Tennis. In: 2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), pp. 845-849 (2022).
- 13) Wu, E., Piekenbrock, M., Nakamura, T., Koike, H.: SPinPong - Virtual Reality Table Tennis Skill Acquisition using Visual, Haptic and Temporal Cues. In: IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, pp. 2566-2576 (2021).
- 14) Kawasaki, H. et al.: CanKendama: A System for Supporting Users to Master Kendama Tricks through a Few Minutes of VR Training. In: Proceedings of IPSJ Entertainment Computing, pp. 26-32 (2020).
- 15) Kawasaki, H., Wakisaka, S., Saito, H., Hiyama, A., Inami, M.: A System for Augmenting Humans' ability to Learn Kendama Tricks through Virtual Reality Training. In: Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2022 (AHs '22), pp. 152-161 (2022).
- 16) Adolf, J., Kán, P., Outram, B., Kaufmann, H., Doležal, J., Lhotská, L.: Juggling in VR: Advantages of Immersive Virtual Reality in Juggling Learning. In: 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (Parramatta, NSW, Australia) (VRST '19), pp. 1-5 (2019).
- 17) Jiang, S., Rekimoto, J.: Mediated-timescale learning: Manipulating timescales in virtual reality to improve real-world tennis forehand volley. In: 26th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology, pp. 1-2 (2020).
- 18) 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)
- 19) Takashi Matsumoto, Erwin Wu, and Hideki Koike. Skiing, Fast and Slow: Evaluation of Time Distortion for VR Ski Training. In Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2022 (AHs '22), pp. 142-151 (2022).
- 20) Löchtefeld, M., Krüger, A., Gellersen, H.: DeceptiBike: Assessing the Perception of Speed Deception in a Virtual Reality Training Bike System. In: Proceedings of the 9th Nordic Conference on Human-Computer Interaction (Gothenburg, Sweden) (NordCHI '16). Article40, pp. 1-10 (2016).
- 21) 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, インタラクション 2016 論文集. pp. 1022-1027 (2016).
- 22) 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ョン (HCI), 2018.22, pp. 1-6 (2018).
- 23) Faltaous, S., Winkler, T., Schneegass, C., Gruenefeld, U., Schneegass, S.: Understanding Challenges and Opportunities of Technology-Supported Sign Language Learning. In: Proceedings of the Augmented Humans International Conference 2022 (AHs '22), pp. 15-25 (2022).
- 24) Kasahara, S., Nishida, J., Lopes, P.: Preemptive Action: Accelerating Human Reaction using Electrical Muscle Stimulation Without Compromising Agency. In: Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '19), Paper 643, pp. 1-15 (2019).
- 25) Takahashi, A., Brooks, J., Kajimoto, H., Lopes, P.: Increasing Electrical Muscle Stimulation's Dexterity by means of Back of the Hand Actuation. In: Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '21), Article 216, pp. 1-12 (2021).
- 26) Ebisu, A., Hashizume, S., Suzuki, K., Ishii, A., Sakashita, M., Ochiai, Y.: Stimulated Percussions: Techniques for Controlling Human As Percussive Musical Instrument by Using Electrical Muscle Stimulation. In: SIGGRAPH ASIA 2016 Posters (SA '16), Article 37, pp. 1-2, (2016).
- 27) Ebisu, A., Hashizume, S., Suzuki, K., Ishii, A., Sakashita, M.,

- Ochiai, Y.: Stimulated percussions: method to control human for learning music by using electrical muscle stimulation. In: Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference (AH '17), Article 33, pp. 1-5 (2017).
- 28) 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ョン (HCI), pp. 1-7 (2022)
- 29) 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, インタラクション 2015 論文集, pp. 969-971 (2015)
- 30) 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)
- 31) 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)
- 32) 武田昌一, 長谷川優, 津久井勤, 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的手がかりの推定, 電子情報通信学会技術研究報告, vol.114, pp. 141-146, (2015)
- 33) 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)