

# D-Ball: リアルタイム色抽出動画処理技術を用いた縮減現実における球技体験設計

坂井 俊介<sup>1,a)</sup> 又吉 康綱<sup>3</sup> 築瀬 洋平<sup>4,2</sup> 檜山 敦<sup>1,2</sup> 稲見 昌彦<sup>1,2</sup>

**概要:** スポーツは時空間的に構造化された環境であるが、そのパフォーマンスの評価は環境からの刺激変数が多く困難である。本稿では、リアルタイムに映像を処理し特定色の物体のみを表示するソフトウェアを開発し、環境からの視覚刺激をコントロール可能な縮減現実を提示した環境下での球技 D-Ball を提案する。この縮減現実アプリケーションを用いた球技の実装と行動観察を踏まえ、その設計及び応用可能性に関し議論する。

## 1. はじめに

近年、コンピュータや機械工学を利用して人間の身体能力を拡張する研究が盛んに行われている。特にこれらの技術を用いて身体能力を駆使するスポーツを拡張する Augmented Sports が研究・開発されており、超人スポーツ協会などが新たなスポーツ設計などの活動を行っている [11]。

Augmented Sports ではフィールド・競技者の使える道具・競技者及び観客の身体などにセンサやアクチュエータ、コンピュータを搭載することによって新たなスポーツ体験を生み出している。拡張現実 (Augmented Reality, AR) の技術を用いて競技者の感覚・知覚を拡張したスポーツ体験が存在する。例えば、PingPongPlus はプロジェクションマッピングを用いて卓球台の上に映像を投影することで卓球のプレイ体験を拡張した [4]。

AR は現実空間上にさらに情報を重畳している一方、現実空間上の不要な情報を削減し、スポーツのプレイに必要な情報のみを提示することで、より構造化された身体運動空間が設計可能である。AR に対して縮減現実 (Diminished Reality, DR) は視覚的に不要な物体を隠蔽・消去・透過させる技術である [6]。例えばリアルタイムに DR 処理を用い、競技者それぞれが縮減現実を知覚した状況でのスポーツ設計が可能になる。

我々は縮減現実を用いた新たな球技 D-Ball を提案する。D-Ball においては現実世界での球技のダイナミクスは保持

されたまま、競技者の知覚のみが変調されている。本稿ではまず、装着する HMD を通した縮減現実の提示により、プレイヤーが球技を構成する基本要素であるフィールド、ボール、プレイヤーのみを知覚可能な空間を設計し、そのギミックを利用した球技を実装することを目標とする。縮減現実空間提示の手法として、リアルタイムに映像の色抽出を行い、特定の色のオブジェクトのみを提示するアルゴリズムを採用した。テストプレイと行動観察を通じ随時ルールや競技環境を更新していくことにより、縮減現実下におけるスポーツ設計方法を検討する。

## 2. 関連研究

### 2.1 Augmented Sports

Augmented Sports は人間拡張技術などを用いてスポーツ体験を拡張する試みである。Augmented Dodgeball は競技者にセンサを付与しそれぞれに戦力調整のためのパラメータを割り振ることにより、競技者間のレベルを調整してより多くの人を楽しめる体験を提供した [9] HADO は HMD を通してヴァーチャルなエナジーボールを打ち合う AR シューティングゲームである [7]。また Leap Motion は HMD により仮想的な卓球のボールを提示し、手に持った触覚デバイスからのフィードバックを用いて実際のボールがなくても卓球を行うことができるシステムを開発した [8]。これらはコンピュータがそのゲームのダイナミクスの一部または全てを担うことで体験の拡張を実現している。D-Ball のゲームのダイナミクス自体にはコンピュータを利用せず、現実世界で行われる球技のプレイヤーの知覚を変調させている。

<sup>1</sup> 東京大学情報理工学系研究科

<sup>2</sup> 東京大学先端科学技術研究センター

<sup>3</sup> 明治大学総合数理学部先端メディアサイエンス学科

<sup>4</sup> ユニティ・テクノロジーズ・ジャパン合同会社

a) shunsakai@star.rcast.u-tokyo.ac.jp

## 2.2 視覚を変化させたスポーツ体験

パラスポーツの一種であるブラインドサッカーでは、フィールドプレイヤーは一切の視覚を使うことが出来ず、代わりに音が出るボールの音やプレイヤーの声といった聴覚情報を用いてプレーを行う。環境の縮減度合いを HMD を通して調整可能な D-Ball においてはその戦略やコミュニケーション方式の転用が考えられる。また既存のスポーツを視覚を変調させた空間で行う体験として、暗闇の中で光るラインやボール、ウェアを用いたバドミントンやテニスが行われている [1][2]。これらは環境全体のセットアップが必要であるが、D-Ball においてはそれぞれのソフトウェアの調節のみで対応が可能である。また HMD を利用するメリットとして競技者一人ひとりに対して縮減度合いを調整して表示することができるため、より幅広い習熟レベルのプレイヤーが同時に楽しむことが出来ることが期待される。

## 2.3 色の変化による視覚変調

色のコントラストを変化させることで人間の視覚は現実世界と大きく異なる。PC ゲームの The Unfinished Swan では、ゲーム内でプレイヤーは真っ白な視界に黒いペイントを吹きかけ、浮かび上がった物体の輪郭を手がかりにして周辺構造を理解する体験ができる [3]。浅田らの Chromatic Glass は映像内の特定色部分、例えば風景写真中の赤い花だけを点滅させて表示することによって、色盲の人でも色を認識しやすい映像を提示した [10]。本研究においては縮減現実提示手法として、指定した色の物体のみを提示する映像処理アルゴリズムを開発した。

## 3. 実装

### 3.1 実装指針

まず HMD を通してリアルタイムに縮減現実を提示する D-Ball アプリケーションを実装する。続いて D-Ball アプリケーションを装着した状態でのプレイヤーの体験を利用、視覚が変調された状態でプレイする球技のルール設計を行う。

### 3.2 リアルタイム色抽出アプリケーション

アプリケーションの要件として、リアルタイムな映像処理が行われ、遅延を抑える必要がある。また運動の際に HMD のフレームレートは VR 酔い防止のため 120Hz 以上が望ましいとされている。1 節で述べたように、リアルタイム DR の適用は計算コストと精度の問題で困難であった。そのためリアルタイムに映像を処理しテクスチャの RGB 値を用いて特定色のオブジェクトのみを抽出して表示するアルゴリズムを Unity 及び ShaderLab によって実装した。図 1 に見え方を示す。ここでは黒い背景上に赤色と青色のオブジェクトのみが抽出しされて表示されている。

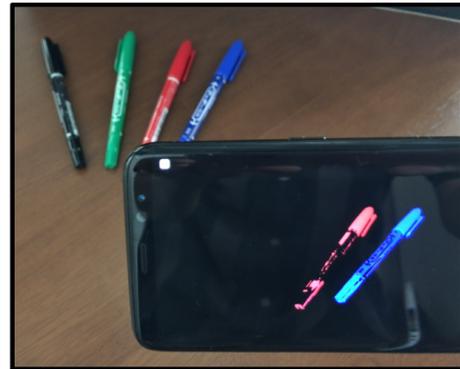


図 1 赤及び青物体抽出の様子。RGB 値から閾値以上の赤色部分のみを抽出して表示している。



図 2 (a) 現実世界でのプレイヤーの見え方 (b) DR システムを通じた見え方。プレイヤーは両手両足及び胴体と背中に赤色マーカーを装着する。

### 3.3 HMD

本研究においては HMD としてスマートフォン (Galaxy S8, OS は Android8.0) をマウントした簡易 HMD を用いた。スマートフォンはカメラとディスプレイ及び画像処理に必要なスタンドアロンな計算機構を備えており、また幅広く普及しており手軽に使用できる。

### 3.4 ゲームデザイン

我々は開発した D-ball アプリケーションを用いて行う球技「D-キャッチボール」を考案した。ボール、コートライン、プレイヤーの装着するビブスに付与するマーカーはいずれも HMD を通して可視になるように赤色である。プレイヤーは HMD を通じて赤色の物体のみを見ることが出来る。プレイヤーは図 2 に示すように両手両足及び胴体と背中にマーカーを装着した。

HMD によりプレイヤーの視界は制限されており、同時に遅延の影響により高速に動くボールのキャッチは難しい。またフレームレートの制限により首を振っての移動を行うと酔いやすい。以上の点を考慮し、味方間でのパスキャッチを目標 (得点) とし、図 3 のようにプレイヤー同士が区

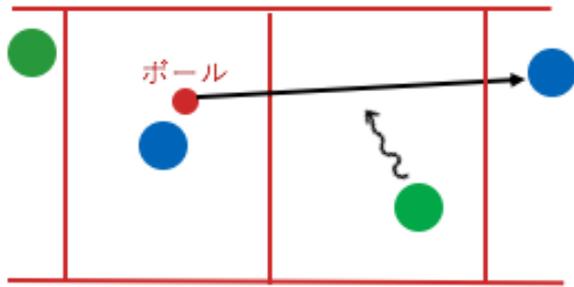


図 3 D-キャッチボールのコート。

切られたドッジボール様のコートで行うことにした。D-キャッチボールは、2人1チームによる対戦型球技である。チームメンバーがコートの内野と外野に1人ずつ分かれ、ボールを持っている攻撃側のチームは味方のプレイヤーに向けてボールを転がして受け渡す。防御側のチームはパスを妨害する。パスが通ると得点になり、逆に妨害によりパス失敗の場合はボール保持権を交代する。5分間のプレーを行い、得点が多いチームを勝利とした。物理的に妨害が不可能となる腰の高さより上を通過するパスを禁止した。

通常のスポーツでは、長い時間にわたりプレーを繰り返すことによってルールを洗練し、難易度や競技性を更新していく。一方D-Ballを含む先端技術を用いたスポーツの設計においては、技術革新への対応やターゲットとするプレイヤーに応じて柔軟かつ頻りにルールをアップデートする必要がある。D-Ballにおいては、装着するHMDを通じて提示する縮減度合いを各プレイヤーごとに調節することが可能である。またフィールドの大きさや形、使用するボールの種類などといったパラメータによって難易度を操作することが可能である。これらのパラメータは実際のプレーを通じて随時調整可能である。同時にこうした縮減現実空間を設計しその中のプレイヤーの動きを観察することにより、プレイヤーの視覚を用いた環境の認識及び行動様式の変容及びその関係性の解明につながると考えられる。

#### 4. D-キャッチボールの体験

D-Ballにおいて、プレイヤーは少ない視覚刺激をもとに脳内での情報補完を用いて現実世界を想像しながらプレーする。縮減現実環境下において新たに可能になるプレーや、有効となる戦術が生まれることが考えられる。

##### 4.1 テストプレイ

D-Ballアプリケーションを用いてD-キャッチボールのテストプレイとしてトーナメント大会を開催した。参加者は4チーム計8人でいずれも過去にプレイ経験はなかった。その場でルール説明を行い、計4試合を行った。初心者間のパス回しの様子を参考に、内野のコートサイズを3.4m四方とした。D-Ballアプリケーションを通していずれの

プレイヤーも、コートを示すライン、ボール、及びプレイヤーに装着したマーカーの赤色のみを見ることができた。アプリケーションの遅延は約200ms、フレームレートは約30Hzであった。

味方同士的意思疎通のため声を使う戦術があるが、相手チームにも意図が伝わってしまうため採用するチームも採用しないチームも存在した。ソフトウェアの遅延を用いて高速にボールを動かしてフェイントとしたり、身体に装着したマーカー部を意図的に隠すことで相手の視界から見えなくなるような姿勢をとる、といったテクニックが見られた。反射神経が速くパスキャッチに秀でたプレイヤーを擁したチームが2勝を挙げた。

##### 4.2 プレイの適応的改善可能性

D-キャッチボールの競技的な発展には試合を重ね競技的な特性を見極めた上で、適宜ルールやコート、アプリケーションの更新を行う必要がある。テストプレイの試合数は十分でなく、練習も行っていないためどのようなテクニックが有効であるかの判断が難しい。初めてHMDを装着したプレイヤーには、単純な足元でのキャッチミスなど、HMD装着時の視野に慣れていないことに起因するプレーが多く見られた。プレイヤーごとにHMD装着時の視界への順応にかかる時間が異なり、環境自体に慣れないプレイヤーは意図する位置へ移動することもままならない。したがってこのプレイ環境に対し等しく順応した上で試合を行い、行動観察を行う。これは短期的な環境への適応と言える。一方で継続的なプレイ経験により新たな戦術や上達するスキルが存在することが考えられる。これは長期的な上達の過程と言える。

環境への短期的な適応を果たした1時間以上の総プレイ時間をもつ経験者4人による試合を行い、その行動観察を改めて行った。このときD-Ballアプリケーションの計算処理速度を高速化させたことで、遅延は130ms程度であった。攻撃側のプレイヤーはパスを投げるまでにかかる時間が短く、ハイペースで試合が進行した。守備側のプレイヤーはボールが投げられてからの反応が早くなり、結果として攻撃側のパスを妨害できる範囲が拡大した。守備側のプレイヤーは極力首を振らないように上体を起こして固定し、腰を落として素早くボールに対して反応できる態勢をとってパスが出るのを待っていた。フィールドにおける立ち位置は、内野のほぼ中央からボールの位置に合わせて左右に少し移動していた。一番後ろの線ぎりぎりまでリトリートするプレイヤーは半数程度であった。コートの前側で守備を行い、パスのインターセプト後に素早いカウンター攻撃を狙うケースが1度見られた。

## 5. D-Ballの展望

### 5.1 D-キャッチボールの改善

D-キャッチボールにおける競技性は、現状のアプリケーションとルール設定における競技の特性を熟慮した上で調整される。D-Ballアプリケーションの開発と調整だけでなく、コートとの形と大きさ、ボールの空気抵抗や重量といった要素もD-キャッチボールの難易度及び体験を決定するパラメータとなっている。これらは今後継続的なプレイによる長期的な上達の過程を踏まえて決定される。

D-Ballアプリケーションは色抽出による縮減現実提示を行うが、体験に対する特定色の提示の影響と遅延の影響は切り分けて評価する必要がある。D-Ballアプリケーションの制約として、遅延及び低フレームレートが挙げられる。これはスマートフォン自体の処理能力に起因する部分が大きく、より処理能力の高い専用のHMDを使う方法も考えられるが、セットアップの手間は増加する。

### 5.2 D-Ballの体験

D-Ballアプリケーションは、相手プレイヤーの可視及び不可視部分をプレイヤー自身が調整することで、縮減現実の中で透明人間になるかのような体験を可能にした。現行のD-Ballアプリケーション自体の運用だけで新しい体験を創出することが可能である。例えば、プレイヤーによって、また時間や位置に応じて縮減度合いを動的に変更することが考えられる。また複数のプレイヤー間で可視色を変えることにより、同じ対象物体を全く異なって知覚するプレイヤーで行うスポーツの設計が可能である。またD-Ballアプリケーションは遅延を制御し、例えばボールやプレイヤーの運動予測を提示することなど時間方向への拡張性も有している。将来的な計算処理の高速化は現状のアプリケーションによる体験を向上させるだけでなく、本稿における実装で断念したりリアルタイムDR技術の適用といった展開も考えられる。

### 5.3 縮減現実を通じた認識と行動の変容

D-Balアプリケーションを通してプレイヤーは少ない視覚刺激から脳内で補間を行い、縮減現実から現実世界を把握していると考えられる。知覚の補間及びそれを踏まえた行動の変容との関係性の解明は今後の課題である。

また縮減現実環境下のコミュニケーションについて今後の研究の余地がある。D-キャッチボールはサッカーやバスケットボールといったスポーツでの基本の動きとなる2対1のパス回しの拡張になっており、パスを成功させるためにはタイミングとポジションの意思疎通をチームメイト間で図る必要がある。D-Ballアプリケーションは一般のスポーツでよく用いられる視覚に依存したコミュニケーション

ン手法を制限しており、顔の表情や身体の細かい向き、視線、ジェスチャーを使うことが出来ない。Johannsonは少量の光点刺激の動きのみから生物の動きを知覚可能であるというバイオロジカルモーション知覚を発見した[5]。サインプレーや動作の予測など、限られた視覚刺激を元に新たな運動知覚を習得する可能性が考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、リアルタイムに映像を処理し視覚刺激をコントロールするHMDを用いて行う新たな球技D-Ballを提案し、その実装として色抽出を行うソフトウェアを開発した。開発したD-Ballアプリケーション及びHMDの制約を考慮した対戦型球技D-キャッチボールを作成し、行動観察を行った。本研究で作成したD-Ballアプリケーションは、D-キャッチボール以外のスポーツ設計にも応用可能である。また縮減現実空間下での新たなコミュニケーション様式、プレイヤーの認識及び行動の関連性を調査するための実験環境としての有用性が示唆された。

謝辞 本研究はJSPS科研費JP16H01741及びJST ER-ATO JPMJER1701の助成を受けた。

## 参考文献

- [1] : Blackminton, , available from <http://www.speedminton.com.sg/blackmintonr/>
- [2] : Night Tennis, , available from [https://www.youtube.com/watch?v=bWUALmRI5\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=bWUALmRI5_w)
- [3] Entertainment, G. S.: *The Unfinished Swan*, Sony Computer Entertainment (2012).
- [4] Ishii, H., Wisneski, C., Orbanes, J., Chun, B. and Paradiso, J.: PingPongPlus: Design of an Athletic-tangible Interface for Computer-supported Cooperative Play, *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '99, New York, NY, USA, ACM, pp. 394-401 (online), DOI: 10.1145/302979.303115 (1999).
- [5] Johansson, G.: Visual perception of biological motion and a model for its analysis, *Perception & Psychophysics*, Vol. 14, No. 2, pp. 201-211 (online), DOI: 10.3758/BF03212378 (1973).
- [6] Mann, S.: Mediated Reality, *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc, pp. 295-328 (online), DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:3(169) (1994).
- [7] meleap.inc: HADO, , available from <http://meleap.com/>
- [8] Motion, L.: Leap Motion Table Tennis in Augmented Reality, , available from <https://www.youtube.com/watch?v=ziY5UVNKNas>
- [9] Nojima, T., Phuong, N., Kai, T., Sato, T. and Koike, H.: Augmented dodgeball, *Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference on - AH '15*, pp. 137-140 (online), DOI: 10.1145/2735711.2735834 (2015).
- [10] 浅田一憲: Chromatic Glass - Web Edition, , available from <http://asada.tukusi.ne.jp/webCG/>
- [11] 超人スポーツ委員会: 超人スポーツ協会, , available from <http://superhuman-sports.org/>