

## 修士論文の和文要旨

研究科・専攻	大学院 情報システム学研究科情報メディアシステム学専攻 博士前期課程		
氏名	遠藤 直樹	学籍番号	1450007
論文題目	Augmented Sports における選手間身体能力差均衡化技術の研究		
要旨	<p>スポーツにおいて、身長や体重等の人間の身体的特徴は選手のパフォーマンスに大きく影響を及ぼす要素である。また、身体的特徴の多くは先天性が高く、後天的に理想の体型を得られる例は少ない。</p> <p>身体的特徴による実力差を埋めるために、ハンディキャップを設けることが考えられる。ハンディキャップを効果的に設定するには弱者が有利になりすぎないような程度の調整が必要である。また、チームスポーツの場合にチーム単位でなく、個々の選手間でハンディキャップを設けるのは極めて困難であり、従来のハンディキャップでは例を見ない。</p> <p>本研究は、選手が持つ身体的特徴で優劣が生じにくいスポーツのルールデザイン手法を研究することを目的とする。スポーツを設計する上で、空間上の人物追跡や姿勢推定等の情報工学的技術を試合に取り込むことで、選手それぞれの身体的特徴を考慮して、選手間で優劣が生じないようなルールデザインや、従来では困難であったハンディキャップを実現する。身体的特徴の中でも特に、従来スポーツの多くで優劣が現れる身長に着目した。</p> <p>スポーツの設計をするにあたって、別々の方針に基づいてルール設計した2つのスポーツを作成した。</p> <p>1つ目は、「同じ試合の中で、それぞれの身長を活かすことができるルール」を設計方針とする、Dual Hockey というスポーツである。</p> <p>もう1つは、従来スポーツの中でも身長差の影響が大きいバスケットボールに着目し、「身長によって生じる不利を低減させるルール」を設計方針として既存のルールに新たなハンディキャップの要素を付け加えた。</p> <p>作成したそれぞれのスポーツで、実際に数名にプレイしてもらい、得られたフィードバックから、それぞれの設計方針の評価を行った。また、二つの設計方針を比較して、身体的特徴差で優劣が生じないようなスポーツを設計する上で、設計者が考えるべき事柄について考察した。</p>		

平成 27 年度修士論文

Augmented Sports における  
選手間身体能力差均衡化技術の研究

大学院情報システム学研究科 情報メディアシステム学専攻

学 籍 番 号 : 1450007  
氏 名 : 遠藤 直樹  
主任指導教員 : 野嶋 琢也 准教授  
指 導 教 員 : 佐藤 俊治 准教授  
指 導 教 員 : 田野 俊一 教 授  
提出年月日 : 平成 28 年 1 月 28 日

# 目次

第1章 序論 .....	1
1.1 背景.....	1
1.1.1 スポーツと選手の身体的特徴 .....	1
1.1.2 スポーツとハンディキャップ .....	3
1.1.3 スポーツと工学技術.....	5
1.2 研究の目的 .....	7
1.3 提案手法.....	8
1.4 本論文の構成 .....	9
第2章 関連研究 .....	10
2.1 Augmented Sports の研究 .....	10
2.1.1 スポーツの要素の拡張 .....	10
2.1.2 既存のスポーツのルール拡張 .....	13
2.1.3 新たなスポーツの開発 .....	16
2.2 ハンディキャップの設定 .....	18
第3章 高身長・低身長の両方を活かすスポーツ .....	19
3.1 「Dual Hockey」概要 .....	19
3.2 システムの実装.....	23
3.2.1 使用機材・ライブラリ .....	23
3.2.2 コート座標系の定義.....	25
3.2.3 プレイヤ領域の検出・プレイヤの同定 .....	27
3.2.4 アプリケーションプログラム .....	28
3.3 テストプレイ .....	30
3.4 考察.....	33

第4章 既存のスポーツに適用する新たな身長ハンディキャップ .....	34
4.1 ハンディキャップの概要 .....	34
4.2 システム構成 .....	38
4.2.1 ハードウェア .....	38
4.2.2 プレイヤの位置計測 .....	40
4.2.3 アプリケーションプログラム .....	45
4.3 実験 .....	48
4.3.1 攻守固定シュート 20 本 .....	48
4.3.2 試合形式 .....	49
4.4 結果 .....	52
4.4.1 攻守固定シュート 20 本 .....	52
4.4.2 試合形式 .....	55
4.5 考察 .....	58
第5章 考察 .....	60
5.1 二つの設計方針の比較 .....	60
5.2 今後の展望 .....	62
第6章 結論 .....	63
参考文献 .....	64
発表文献・実績 .....	68
謝辞 .....	69

# 図目次

図 1	圧縮ガスを噴射する TAMA .....	10
図 2	ハンドジェスチャによって軌道変化する HoverBall .....	11
図 3	Keepin' it Real .....	12
図 4	Jogging over a distance .....	13
図 5	Imaginary reality gaming .....	14
図 6	Augmented Dodgeball の試合の様子 .....	15
図 7	e スポーツグラウンド .....	16
図 8	Hanging off a bar .....	17
図 9	Designable sports field .....	18
図 10	Dual Hockey のプレイの様子 .....	20
図 11	投影される画面と各部の説明 .....	21
図 12	プロジェクタの設置状況と映像投影結果 .....	24
図 13	Kinect 座標系 .....	25
図 14	コート座標系の例 .....	26
図 15	プレイヤーデータ計測の処理フロー .....	27
図 16	両膝を床に付けた状態で腕を伸ばしてプレイする体験者 .....	31
図 17	両手を後ろで組んだ状態でプレイする体験者 .....	32
図 18	オフENSより高身長プレイヤーは侵入が制限されるゾーン .....	35
図 19	ゾーンによって低身長プレイヤーのシュートコースが広がる様子 .....	37
図 20	体育館に設置した装置類 .....	39
図 21	計測プログラム全体のフロー .....	40
図 22	プレイヤーの位置計測のフロー .....	42

図 23	コート上にプレイヤーが立っている様子 .....	43
図 24	プレイヤー領域の抽出と最高点の高さ表示.....	44
図 25	プレイヤーの頭の高さ計測の結果.....	44
図 26	高身長プレイヤーの姿勢による低身長プレイヤーのゾーンの見た目の 変化.....	46
図 27	ドリブル中はゾーンが消えて小型の円が表示される .....	46
図 28	ゾーン・ヴァイオレーション判定時の警告表示 .....	47
図 29	4組のシュート回数のグラフ .....	53
図 30	B 対 D におけるセットシュートの内訳.....	54

# 表目次

表 1	攻守固定シュート 20 本のシュート回数結果 .....	53
表 2	攻守固定シュート実験のアンケート結果の攻守別平均 .....	55
表 3	選手毎の各試合の得点 .....	56
表 4	試合形式実験のアンケート結果の身長帯別平均 .....	57

# 第1章

## 序論

### 1.1 背景

#### 1.1.1 スポーツと選手の身体的特徴

スポーツにおいて身長や体重、足の長さといった人間の身体的特徴は、選手のパフォーマンスに大きく影響を及ぼす重要な要素である。体力や運動能力の測定において、身長を基準に評価する手法の提案がなされている[1]。そのため試合の公平性の観点から、体格に関して一定の制限が設けられることがある。例えば、ボクシングや柔道などの格闘技の国際大会では、選手の体重ごとに階級が分けられ、それぞれの階級で試合が行われる。

プレイヤーの身長も、スポーツの結果に影響する要素と考えられ、幾つかの種目では公平性の観点から制限が設けられている。例えばバスケットボールでは、選手身長がチームの戦力に影響を与えることが確認されている[2]。そして一部の国においては、選手に対して身長制限を課している。また、バレーボールも高身長のプレイヤーの方が有利な競技として知られている。しかし小学生くらいの子供の場合は体格差が大きく、小さい子は不利であり、バレーボールで活躍することが難しいという問題があった。その課題に対して、低身長児が活躍で



きるよう、小学生のバレーボールでは「バックセンター固定制」というルールが取り入れられている[3]。これらの競技以外でも、身長が高い場合には、高い位置でのボール操作が容易、目線が高いことで視野が広いといった利点があり、多くのスポーツで有利に働く要素となっている。ただしこれは種目に強く依存するものであり、身長があまり影響しないスポーツ、高身長の方がかえって不利になるスポーツも存在する。例えばラグビーやサッカーでは、必ずしも高身長が有利というわけではなく、身長によってポジション分けがされる傾向が強い。一方でボートレースのように、選手に一定基準以下の身長であることを求めるスポーツもある。また器械体操、とくに縦回転種目では、低身長の方が有利とされる。また競馬やF1では、明確な身長基準はないが、体格が小さい方が有利であり、結果として身長の低めのプレイヤーが有利となるといった種目もある。

これらのことからわかる通り、身長が高ければ常にスポーツにおいて有利である、ということではない。この点については、競技によって大きく事情は異なる。問題は、身長の高低が努力だけで克服できるわけではないにも関わらず、スポーツの結果に影響を及ぼす要素である、という点にある。

身体的特徴の多くは先天性が高く、身長もその一つである。身長伸びの要因の8割は遺伝的要因であるということが過去の研究から知られている[4]。そのため、努力によって理想の身長を得ることは極めて困難であり、また努力せずに高い身長を得られる例も少なくない。スポーツの重要な要素に公平性があり、対等な条件で競うことが理想とされる。しかしながらこのような、努力がほとんど関係しない部分がスポーツにおける有利・不利に大きく影響を及ぼすという事実は、スポーツにおける公平性の担保という観点で問題であると考え

られる。

後天的に改善の余地が少ない身長の高い選手がスポーツで活躍するためには、試合中に身長の低さが不利になりにくいポジションに就くか、先述したような身長差の影響が少ないスポーツを選ぶしかない。例として、バレーボールのリベロというレシーブを専門とするポジションが挙げられる。リベロは前衛でのプレイに大きく制限がかけられており、ネット際の高い位置の攻防で有利となる身長の高さが必要ない。また、バスケットボールでは、ルールとしてポジションの規定はないが、攻撃時に比較的后方に位置するポイントガードと呼ばれる役割に、低身長の選手が起用されることが多い。しかし、これらのポジションは身長が低くても問題になりにくいだけであり、身長の高さを活かせるわけではない。

### 1.1.2 スポーツとハンディキャップ

スポーツやテレビゲームでは、プレイヤー間に大きな実力差がある場合、ハンディキャップを適用することで拮抗した試合展開を狙うことがある。その理由は、プレイヤー間の実力差が大きいと、弱者はまともにプレイすることができず、また強者にとっては手ごたえがなく、つまらない試合になってしまうからである。また、観客にとっても勝敗がわかりきっている試合は面白くない。

この時、プレイヤー間の実力差を調整するためのハンディキャップにはおおよそ2通りの方法がある。1つは、強者に対して不利な条件を設定する方法である。例えば卓球では、強者は利き手ではない手でラケットを持って試合するということや、テニスでは弱者のコートを狭くすることで強者が打ち返すことを難しくするといったことが挙げられる。もう一つは、弱者をアシストするような有

---

利な条件を設定する方法である。例として、競走で弱者は強者より短い距離を走るといったことが挙げられる。また、ゴルフでは一般的にハンディキャップが利用される。ゴルフの団体によってハンディキャップが異なっている[5]。

ハンディキャップを適用する場合、その程度の設定には注意が必要である。実力差を埋めるためのハンディキャップのはずが、弱者側が有利になりすぎてしまい、結果として一方的な試合展開となってしまう場合があるからである。また、あからさまなハンディキャップ設定にも注意が必要である。例えば将棋のハンディキャップとして、駒落ちという方法がある。力量が上の者の駒をいくつか外した状態で行われる試合であるが、一見するだけで力量差が見て取れるハンディキャップ手法である。ゴルフのハンディキャップも同様であり、ハンディキャップのための数値が、そのプレイヤーの力量を示す数値としても用いられている。あまりにわかりやすいハンディキャップは、力量の差を明確にあまり出すことに繋がり、プレイヤーのモチベーションを低減させる恐れがあると考えられる。理想的なハンディキャップには、プレイヤー間の実力差を埋める効果がありつつも、明確にはハンディキャップとして認識できない、といった要素が含まれていることが望まれる。

適切なハンディキャップを設計するためには、各プレイヤーの実力を評価する必要がある。しかしながらそれを正確に推定することは極めて困難な課題であり、身体能力や、相手との相性、環境の違い等、様々な要素を考慮する必要がある。また、その競技のプレイヤー数にも影響される。スポーツには、柔道やテニスのシングルスのような1人対1人の試合を行う個人スポーツと、野球やバスケットボールのような複数人で一つのチームを組み、チーム対チームで試合を行うチームスポーツが存在する。個人スポーツであれば、対戦する2人の差

のみに着目して実力差を推定し、適切なハンディキャップを設定することができる。一方、チームスポーツの場合、プレイヤー個人としてのハンディキャップと、チームとしてのハンディキャップと、2種類のハンディキャップを考慮する必要がある。しかし個人に合わせたハンディキャップの設計は極めて困難である。実際にチームスポーツで多くみられるハンディキャップの例は、チーム単位で弱者・強者に分けられ、チーム全体に対してハンディキャップが設定されるものである。

### 1.1.3 スポーツと工学技術

近年、テニスのライン判定やサッカーのゴール判定のために、機械判定が公式大会で導入されている[6][7]。また、NBAの試合ではSportVU[8]というトラッキングシステムによって、試合中の選手やボールのコート上の位置や高さを計測しており、このデータを利用した高度な試合分析によって、各チームの練習や試合の戦略に反映されている。また、データの一部は一般向けにWebで公開されており[9]、ファンは試合をより深く楽しむことができる。このように、現代のスポーツにおいて利用されているカメラやセンサによる計測技術やデータ解析技術は、人間には難しい精密な判定や、詳細な試合分析を実現している。

現在実用化されている機械判定やトラッキング技術は、あくまでもスポーツの補助的な部分への応用にとどまっている。一方で、競技を行う選手や道具、競技コート等のような、スポーツを成立させている部分へ科学技術を応用することで、新たなスポーツを創造するという試みがなされている。2016年にはCybathlon[10]と呼ばれる、パワードスーツやブレイン・コンピュータ・インタフェース等を装着した障害者による競技会が、スイスで開催予定である。また、

日本でも 2015 年 6 月 2 日に超人スポーツ協会[11]が設立され，人間や空間の拡張技術によって超人的なスポーツを実現するという目的で活動している。

## 1.2 研究の目的

スポーツにおいて、人間は自分の身体を動かすことで試合に参加することができる。身体を使って競技するため、選手の身体的特徴は少なからず試合に影響を与える。しかし、後天的に改善される可能性が低い身体的特徴の差によって、選手間に有利・不利の差が生まれてしまうのは、そのスポーツの間口を狭めてしまっている現状がある。

身体的特徴による実力差を埋めるために、ハンディキャップを設けることが考えられる。ハンディキャップを効果的に設定するには弱者が有利になりすぎないような程度の調整が必要である。また、チームスポーツの場合にチーム単位でなく、個々の選手間でハンディキャップを設けるのは極めて困難であり、従来のハンディキャップでは例を見ない。

そこで本研究は、空間上の人物追跡や姿勢推定等の情報工学的技術を試合に取り込むことで、選手が持つ身体的特徴で優劣が生じにくいスポーツのルールデザイン手法を研究することを目的とする。身体的特徴の中でも特に、従来スポーツの多くで優劣が現れる、身長に着目した。

### 1.3 提案手法

選手の身長による優劣がほとんどないようなスポーツを目標に、別々の方針に基づいてルール設計した、2つのスポーツを作成した。

まず1つ目は、「同じ試合の中で、それぞれの身長を活かすことができるルール」である。高身長選手が有利なシチュエーションがあっても、別のシチュエーションで低身長選手が有利であれば、試合全体で見た時に優劣はほとんど発生しないと考える。

2つ目は、「身長によって生じる不利を低減させるルール」である。従来スポーツのバスケットボールは、いくつかのシチュエーションで身長の高さが有利にはたらく。その内、低身長選手のシュート時に、高身長選手によるブロックがされにくくなるようなハンディキャップを既存のルールに追加する。

この2通りのルールデザインの方針に基づいて設計されたスポーツについて、考察を行い、身体能力差を均衡させるためのルールデザイン手法を述べる。

---

## 1.4 本論文の構成

本論文ではまず、序論において研究の背景と目的を述べた。第2章では、Augmented Sports や、ゲーム・スポーツにおけるハンディキャップに関する研究を紹介する。第3章では、1.3節で述べた1つ目のスポーツについて紹介する。また、このゲームを実際に体験してもらい、得られた感想を元に考察する。第4章では2つ目の、既存のスポーツに工学技術を応用した新しいルールを導入する設計手法について述べる。第5章では、第3章・第4章の内容を比較して考察するとともに、今後の課題について述べる。最後に第6章で本論文の結論を述べる。



## 第2章

## 関連研究

### 2.1 Augmented Sports の研究

#### 2.1.1 スポーツの要素の拡張

Ohta ら[12]が開発した図 1 の TAMA(Trajectory chAnging Motion bAll)は、ボールの中に自身の姿勢を推定するためのセンサ類と圧縮空気ポンペが内蔵されており、特定のタイミングでガスを噴射することで、投げたボールの軌道を変化することができる。習得が困難な変化球を誰もが容易に投げられるだけでなく、従来のスポーツでは見られなかった新しい変化球の実現も期待できる。

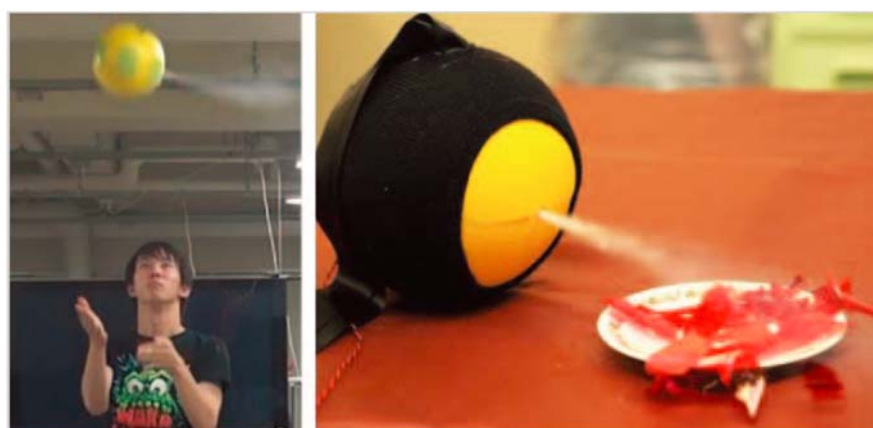


図 1 圧縮ガスを噴射する TAMA

Nitta らの Hoverball[13]は、ボールの中心にクアッドコプタを搭載しており、ボールの動くスピードや方向を自在に変化させることができる。図 2 に示すように、モーションキャプチャによってユーザの手の動きを計測しており、ハンドジェスチャによってボールの操作を容易に行うことができる。

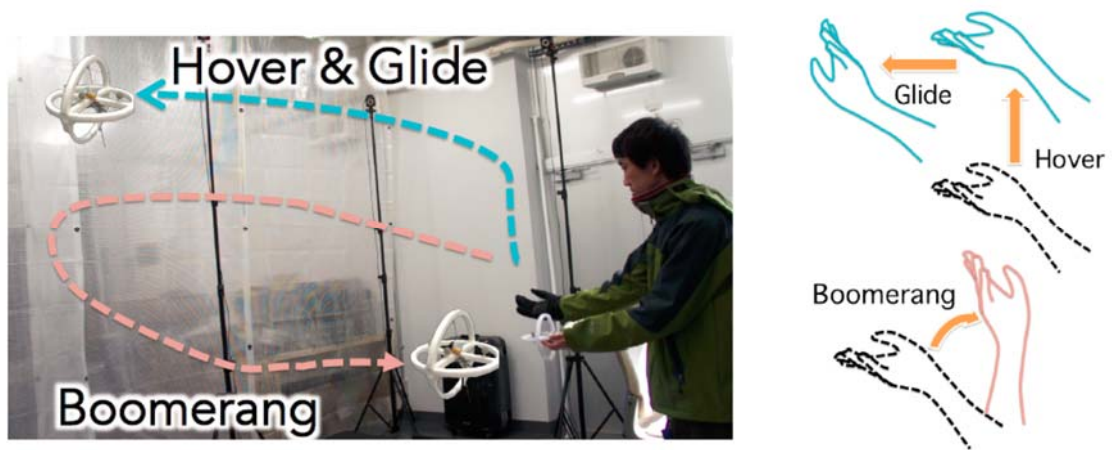


図 2 ハンドジェスチャによって軌道変化する HoverBall

これら二つの例は特殊なボールを使用することで、ボールの拡張、あるいは人間に変化球を投げることを可能にするプレイヤスキルの拡張ともいえる。

Jensen らの Keepin' it real[14]は、ハンドボールのシュートトレーニングシステムである。図 3 のように、ボールが当たった位置を計測することが可能な高反発ネットの裏にスクリーンを設置し、ボールを当てるべき的を表示する。従来のアナログなシュートトレーニング方法は、ゴールキーパーの代わりに障害物をゴールに設置することが多いが、実戦のようにリアルタイムで動くゴールキーパーをかわしてシュートするようなトレーニングは困難である。このシステムでは、ジャンプ後に初めての的のグラフィックを表示させる工夫やグラフ

イックを動的に表示することで、実戦に近いゴールキーパーとの駆け引きをシミュレーションしたトレーニングが行える。スポーツにおけるトレーニング方法の拡張例といえる。



図 3 Keepin' it Real

Mueller ら[15]の Jogging over a distance は、遠隔地のユーザとジョギング中のコミュニケーションを実現する研究である。ユーザはジョギング中にヘッドセットを装着することで、遠隔で会話ができる。特徴的なのは、ユーザの走るスピードを計測することで、自分より相手が速ければ相手の音声は前方から聞こえ、相手が遅ければ後方から聞こえるように音声出力される。相手の声や

吐息の他，音声の聞こえる位置によって，遠隔であるにも関わらず相手のペースに合わせてジョギングするような体験が可能である．これはスポーツによるコミュニケーションの拡張であるといえる．



図 4 Jogging over a distance

### 2.1.2 既存のスポーツのルール拡張

Patrick らの Imaginary reality gaming[17]は，実世界にボールが存在しないボールスポーツである．図 5 はバスケットボールをベースにした Imaginary reality gaming であり，左が実世界の映像で，右がコンピュータ上で処理されているボールの動き等の試合の状況を重畳表示したものである．プレイヤーの位置や腕の振りをセンシングしており，シュートやパスを認識する．試合中のプレイヤーへのフィードバックは音声のみであるが，ボールが見えなくても，相手のパスやシュートの動きに連動するため，相手を観察して行動予測するような

従来のバスケットボールにおけるスキルが活かせる設計となっている。シュートやパスの成功率はコンピュータ上で調整することが可能なため、運動の苦手なプレイヤーのシュート・パス成功率を高く設定するようなハンディキャップの設定が容易である。

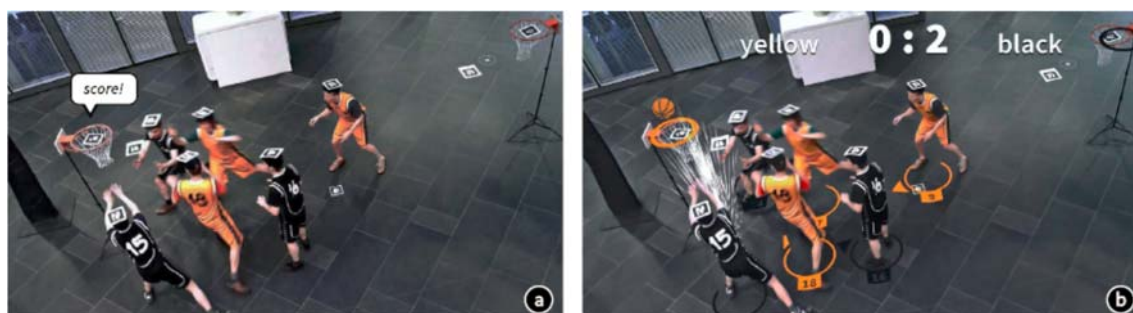


図 5 Imaginary reality gaming

図 6 に示す、Nojima らの Augmented dodgeball[17]は、従来のドッジボールに体力や攻撃力、防御力等の、バーチャルなパラメータをプレイヤーに設定している。ボールを当てられた場合、すぐに外野になるのではなく、当てたプレイヤーの攻撃力と当てられたプレイヤーの防御力からダメージが計算され、当てられたプレイヤーの体力がダメージ分だけ減少する。プレイヤーの体力が 0 以下になるとプレイヤーは外野となる。Augmented Dodgeball の試合では基本的に従来のドッジボールと同様に、ボールの投擲や回避の技術は試合中有利に働く。しかし、ダメージ計算に直接関わるのは、攻撃力や防御力等のバーチャルなパラメータであるため、どれだけボールを上手く当てることができても、そのプレイヤーのパラメータが低ければ試合におけるアドバンテージは低くなる。逆にボールの投擲が苦手なプレイヤーでも、パラメータを高く設定することで試合での活躍が期待できる。またバーチャルパラメータを利用すると、攻撃力が高いが防

御力が低い役割や、逆に攻撃力は低いが防御力が高い役割を作成することで、投擲が上手いプレイヤーは攻撃役を、ボールのキャッチが上手いプレイヤーは盾役をするなど、従来のドッジボールでは無かった戦術が生まれる。このように、実世界でのスポーツの上手さと、バーチャルなパラメータとのバランスを取る他に、プレイヤーの特徴に合わせたパラメータの設定等によって、従来のような強者だけが活躍できるのではなく、弱者や投擲の苦手なプレイヤーが活躍できるようなスポーツになっている。



図 6 Augmented Dodgeball の試合の様子

これらのスポーツは、バスケットボールとドッジボールという既存のスポーツのルールはほとんどそのままに、バーチャルパラメータを導入することによってハンディキャップの柔軟な設定や、これまでになかった新たな戦術・プレ

イスタイルを実現している。既存のスポーツのルールを拡張した Augmented Sports であるといえる。

### 2.1.3 新たなスポーツの開発

e スポーツグラウンド[16]は、エウレカコンピューター株式会社が開発した、ゲームとスポーツを融合した「e スポーツ」のプラットフォームである。深度カメラによって空間上のプレイヤーの位置を計測しており、床面に投影されたプロジェクタの映像とインタラクションできる。図 7 のように、床面に投影されるゲームを、身体全体を動かすことで操作するため、遊びながら運動することができる。e スポーツグラウンドで開発されるゲーム・スポーツは、ブロック崩しやエアホッケーのような既存のゲーム・スポーツ・ゲームをモデルとした物の他にも、全く新しいゲーム・スポーツが開発できる。

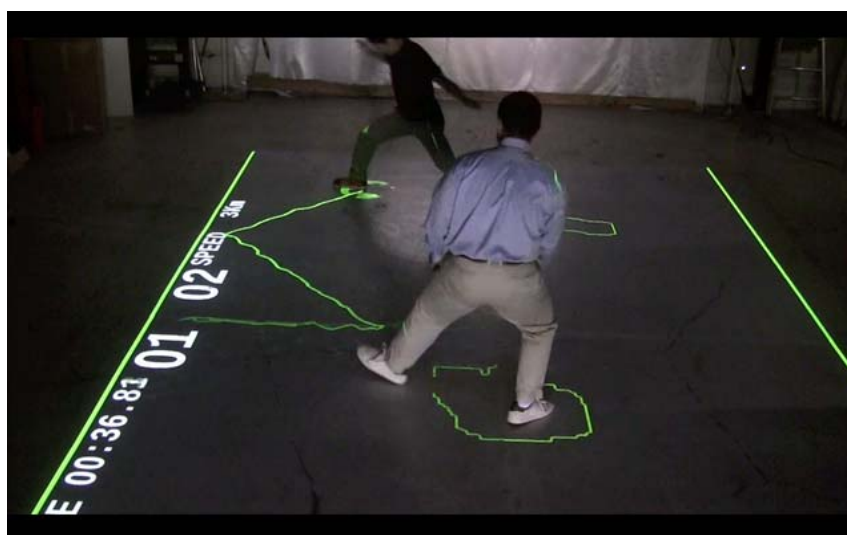


図 7 e スポーツグラウンド

Mueller らの Hanging off a bar[19]は、プレイヤーが鉄棒にぶら下がり、床面に投影された映像とインタラクションするゲームである。図 8 のように、床には川の映像が表示され、時々上流からいかだ状の物体が流れてくる。プレイヤーは川に落ちないように鉄棒にぶら下がるが、いかだの上では鉄棒から手を離し、床に着いて手を休めることができる。床に設置した圧力センサで着地の判定をしている。



図 8 Hanging off a bar



## 2.2 ハンディキャップの設定

テレビゲームやスポーツのハンディキャップや難易度調整の手法について紹介する。

Altimira ら[20]は、スポーツや身体を動かすゲームにおいて設定されるハンディキャップの効果を検証している。テレビゲームの卓球と現実の卓球でハンディキャップをそれぞれ設定し、比較を行った。

Sato らの Designable sports field[21]は、図 9 に示すように、スポーツゲームを行うプレイヤーと、ゲームの難易度をリアルタイムで調整するデザイナーの 2 つの役割を用意している。プレイヤーの心拍数を計測し、デザイナーに提示することで、プレイヤーに最適な難易度調整を行わせる。



図 9 Designable sports field

## 第3章

# 高身長・低身長の両方を活かすスポーツ

### 3.1 「Dual Hockey」概要

1.3 節で述べた、「同じ試合の中で、それぞれの身長を活かすことができるルール」を設計方針として、Dual Hockey というスポーツを設計した。

Dual Hockey は、図 10 からわかるように、床と天井に投影された映像を使用する。2つの画面では、エアホッケーをモデルに作成したゲーム画面が表示されている。投影面の上に立っているプレイヤーは、身体を動かすことで映像に表示される自分のラケットを操作して、2画面のホッケーゲームをプレイする。それぞれの面に映している映像の例を図 11 に示す。プレイヤーが投影面上を動くと、そのプレイヤーに対応するプレイヤーラケットが、プレイヤーが動いた方向へと連動して移動する。画面上を動き回るボールがプレイヤーラケットに当たると打ち返すことができる。画面の両端にゴールが存在し、相手のゴールにボールをシュートすることで得点となる。天井と床の画面はラケットの水平位置のみが連動しており、ボールはそれぞれ独立して移動している。どちらかの画面でボールがシュートされたら得点となり、次のラリーが開始する。



図 10 Dual Hockey のプレイの様子

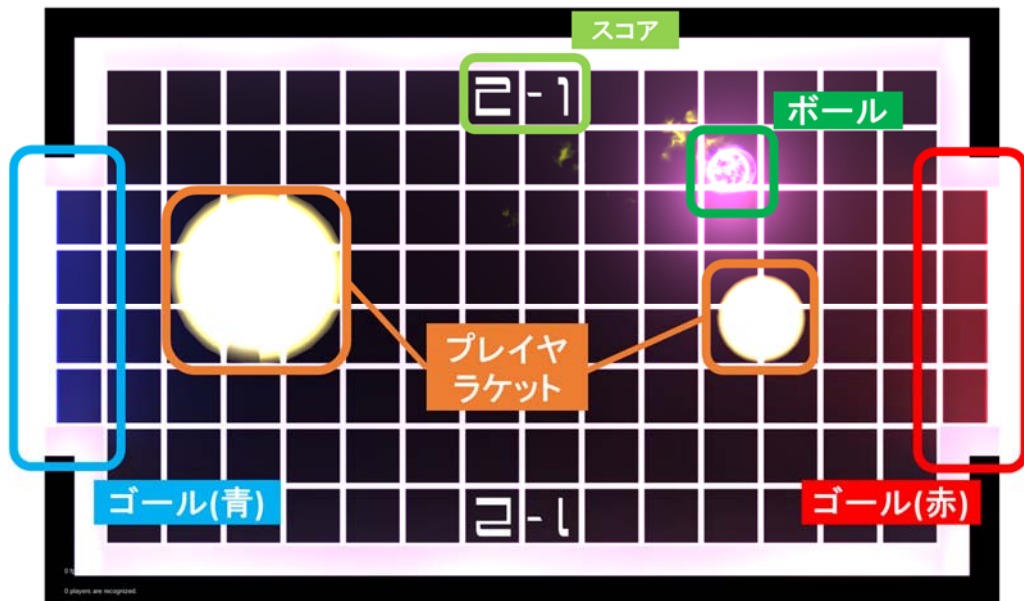


図 11 投影される画面と各部の説明

投影面上のプレイヤーの身体の内、最も床から遠い点の3次元位置を計測し、ゲーム画面の入力としている。水平位置データは対応するプレイヤーラケットの位置を操作する。高さデータはプレイヤーラケットのサイズを変化させ、高さが低いほど床のラケットは大きくなり、天井のラケットは小さくなる。逆に高いほど、床のラケットは小さくなり、天井のラケットは大きくなる。ラケットが大きくなると、ボールの当たる範囲が広がるため返球しやすく、同時に返球のスピードも速くなる。逆にラケットが小さいと、返球が難しくなり、返球のスピードも遅くなるので相手にとって打ち返しやすいうボールとなってしまう。

プレイヤーはリアルタイムで計測されているため、同じプレイヤーでも膝を抱えてしゃがみ込むとそのプレイヤーのラケットの大きさは頭の高さに応じて、床のラケットは大きく、天井のラケットは小さくなる。また、手を高く上げて背伸びをすれば、逆の変化を起こすことができる。基本的にしゃがみ状態や背伸び状態では、左右の移動がしづらいため、普段通りに立っている状態がプレイヤー

---

の最良のパフォーマンスが発揮できると考えられる。従って、低身長のプレイヤーは身長の高さから床面のプレイに有利であり、高身長のプレイヤーは天井のプレイが有利となる。

Dual Hockey の試合では、床と天井のどちらか一方のボールがシュートされるとラリーが終了して得点となるため、片方の画面にのみ集中してプレイすると、もう一方の画面で負けてしまうという事態が想定される。したがって、高身長プレイヤーと低身長プレイヤーが対戦をした場合には、両者が有利な画面と不利な画面を持っており、かつ両方の画面に集中する必要があるため、試合全体で見れば優劣の差は生じない。

## 3.2 システムの実装

### 3.2.1 使用機材・ライブラリ

非接触でユーザの位置・身長を計測を行うため、Kinect (Microsoft®Kinect v2 Sensor[22]) を使用した。Kinect は赤外線 LED 及び赤外線カメラ、RGB カメラ、ステレオマイクを内蔵している。装置前面から赤外線光を一定間隔毎に照射し、赤外線カメラで光が跳ね返るまでの時間を計測し、空間の奥行きを計測する。計測したい物体には、特別な道具を装着する必要がない。そのため、ユーザの身体の動きを一切妨げない計測が可能である。

Kinect で計測したデータは Kinect for Windows SDK[23]の API を使用することでプログラムからアクセスできる。取得できる画像データは深度画像とカラー画像の 2 種類である。深度画像は 2 次元のグレイスケール画像で、各画素値がその画素の Kinect からの距離を示す。また、深度画像及びカラー画像の各画素に対応した、Kinect を中心としたカメラ座標系の 3 次元データへ変換できる。

深度画像及びカラー画像を処理するために、オープンソースである画像処理ライブラリの OpenCV[24]を使用した。また、C++でベクトルや行列の演算を行うために、線形代数ライブラリの Eigen[25]を使用した。

床面と天井に映像を投影するプロジェクタに、EB1776-W[26]を 2 台使用した。図 12 のように、一台を天井付近から床向きに、もう一台を床から天井方向に向けて設置した



図 12 プロジェクタの設置状況と映像投影結果

### 3.2.2 コート座標系の定義

Kinect のカメラ座標系は図 13 に示すように、Kinect を原点として、正面方向を+Z 方向，上方向を+Y 方向，左方向を+X 方向とする右手座標系で定義されている。各軸の単位はメートルである。プレイ空間上のプレイヤー位置を，アプリケーションの入力として使用しやすいよう，コート座標系を定義し，カメラ座標系からコート座標系へと数値を変換する。



図 13 Kinect 座標系

この計測システムで実装するゲーム・スポーツでは，ゲーム中のプレイヤーの行動可能な範囲を，コート空間として設定する。3.2.4 節で作成したゲームでは，プロジェクタで部屋の床や天井に映像を投影可能な範囲を，コート空間として設定した。コート空間を設定した後，コート座標系を定義する。コート空間内の床平面の中心となる点をコート座標系の原点とし，原点から天井に向けて正となるように Z 軸を定義する。Kinect の視点で，左方向が正となるように X 軸を，奥行き方向が正となるように Y 軸をそれぞれ定義する。各軸の単位は Kinect 座標系と同様に，メートルとする。図 14 にコート座標系の定義の例を示す。



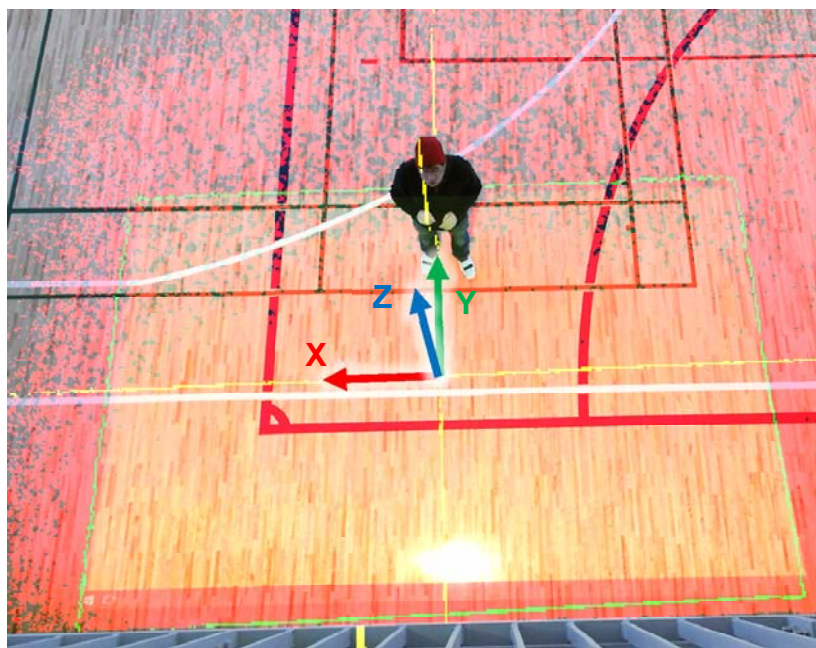


図 14 コート座標系の例

Kinect 座標系からコート座標系への変換は、座標系の間で平行移動を行い、軸を合わせるための回転を行う。最後にコート座標系は左手系であるため、Z 軸のみ反転する。

まず、コート床面の 4 隅の Kinect 座標系データを取得する。この 4 点の座標データを使用して、コート床面中心を原点とし、Kinect から見て左側を+X 方向、奥行き方向を+Y 方向として X 軸と Y 軸を設定する。Z 軸は X 軸と Y 軸に直交しているため、X 軸と Y 軸の外積を求めることで Z 軸が求まる。コート座標系となるベクトルが求まったら、Kinect 座標系からコート座標系へと回転してそれぞれの軸を合わせるクォータニオンを計算する。また、コート座標系の原点と Kinect 座標系の原点の差分から、平行移動行列が求められる。

これにより、Kinect 座標系のデータをコート座標系へ変換する、クォータニオンと平行移動行列が求められた。

### 3.2.3 プレイヤ領域の検出・プレイヤの同定

次に、Kinect で取得できる深度画像を画像処理によってプレイヤ領域を検出し、ゲーム・スポーツの入力として使用するプレイヤデータを作成する。計測の処理フローを図 15 に示す。Kinect で新しい深度画像が計測される度にこの処理を繰り返し、最新のプレイヤデータを計測する。

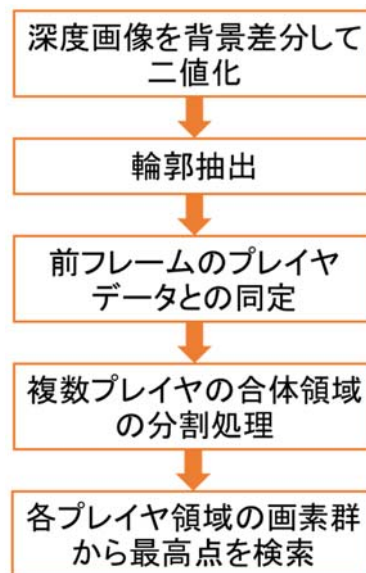


図 15 プレイヤデータ計測の処理フロー

まず、新たに取得した深度画像に対して、あらかじめ保存しておいた、コート上に何も物体がない状態の深度画像を背景画像として差分を求め、設定した閾値によって二値化を行う。

次に、二値画像に対して輪郭抽出を行う。このとき、プレイヤ領域の候補とする領域面積の範囲を設定しておき、小さすぎる物や大きすぎる物の領域は以

降の処理で使用しない。検出した領域の重心を求める。

次に、前フレームで検出したプレイヤーデータの領域の重心と、現フレームで検出したそれぞれの領域の重心との距離を求め、一定範囲内かつ最近傍の領域に対して、同一プレイヤーの候補として登録する。前フレームで検出した全プレイヤーデータで候補の探索を行った後、現フレームの領域に登録された候補が 0 の場合、新しいプレイヤーデータとして作成する。登録された候補が 1 個の場合、候補のプレイヤーと同一のプレイヤー領域であると見なし、プレイヤーデータの更新を行う。登録された候補が 2 つ以上の場合、複数のプレイヤーの領域が合体し、単一の領域として計測されたと推定し、領域の分割を行う。領域の分割には、前フレームの全プレイヤー領域候補の重心の間の二等分線を求める、ボロノイ分割によって、現フレームの領域を分割し、最近傍のプレイヤー領域の候補先の領域としてプレイヤーデータの更新を行う。なお、プレイヤーデータの更新が一定フレーム数行われなかったプレイヤーデータは、削除される。

プレイヤーデータの作成には、領域の画素群の画素値をそれぞれコート座標系に変換し、最も  $z$  値の高い画素を最高点としてプレイヤーのコート上の 3 次元位置として記録する。また、前フレームのプレイヤーデータの更新の場合、前フレームの位置と現フレームの位置の差分と、フレーム間の時間を計測し、プレイヤーの速度を求める。

最後に、計測されたデータは UDP 通信によって、ゲーム・スポーツのアプリケーションプログラムに送信される。

### 3.2.4 アプリケーションプログラム

ゲーム画面のプログラムを Unity で作成した。

---

ゲームの動作は基本的な動作はエアホッケーを参考にし、次のような仕様を決めた。

- 計測プログラムから新規のプレイヤーのデータを受信すると、プレイヤーラケットを生成する。過去のプレイヤーの新しいデータを受信すると、プレイヤーラケットの位置や大きさを更新する。
- ラリーが開始すると、画面中央にボールを生成し、ランダム方向に動かす。
- ボールはプレイヤーラケットに衝突すると、ラケットの大きさに応じた返球速度で跳ね返る。
- ゴールのエリアにボールが到達した瞬間、ラリーを終了し、相手プレイヤーの得点となる。
- 決められた点数を先に取ったプレイヤーの勝利となる。

### 3.3 テストプレイ

研究室の学生数名で、Dual Hockey を試遊した。

初めはボールの返球速度の設定が速すぎたため、片方の画面に気を取られている内に反対側の画面で、気づかずに負けてしまうという状況が目立った。その後、速度の調整を行うと、ラリーが続き、対戦時間が伸びるようになった。床と天井の2画面を並行してプレイすることの難しさは、最初は戸惑うものの、数回試合をすると慣れてきて、両方の画面に注意を向ける余裕が生まれるようである。しかし、2画面を見るのに忙しく、試合中は相手の動きに気を回す余裕はあまりない様子だった。

また、テストプレイ中に見られた行動として、図 16 のように、自分のゴール前で常にしゃがんだ状態をキープし、手を上げてラケットの操作を行う例が見られた。身体の最高点が常に手となるように注意することで、このように身体が動けない状態でも腕の振りを使えば、手の届く範囲内でラケットの移動を行うことができる。また、しゃがんだ状態で床のラケットを大きく表示し、ゴール前で待機することで、床面のゴールをふさぐ形をつくることができる。しかし、代わりに天井のラケットは小さく表示されてしまうため、天井のボールに注意を向けなければならず、その結果、床面のゴール前に隙ができてしまうのに気づかずに床面で得点されてしまうというケースが少なくなかった。

また、先述のように腕を高く上げる動作は、背伸びやジャンプするよりも簡単に高さが得られる。そこであえて、図 17 のように両手を後ろに組んで腕を上げる動作を縛るプレイも見受けられた。この状態では、床のラケットを大きくするためにしゃがみ込み、天井のラケットを大きくするために身体を伸ばし、ジャンプするような動作が増えるためか、試合後の疲労感が増加する傾向にあ

った。



図 16 両膝を床に付けた状態で腕を伸ばしてプレイする体験者



図 17 両手を後ろで組んだ状態でプレイする体験者

### 3.4 考察

テストプレイの体験者達の間には大きな身長差はなかった。しかし、ずっとしゃがむ、手を上に伸ばして円を描くように動かす等、様々なプレイスタイルが試されたが、いずれも試合で有利となる戦術ではなかった。このことから、身長差がある組み合わせの試合でも、高身長側、もしくは低身長側が一方的に有利となる結果にはならないと予測する。



## 第4章

# 既存のスポーツに適用する新たな身長ハンディキャップ

### 4.1 ハンディキャップの概要

従来スポーツの中でも身長差の影響が大きいバスケットボールに着目し、1.3節で述べた、「身長によって生じる不利を低減させるルール」を設計方針として既存のルールに新たな要素を付け加える。

バスケットボールのゴールリングは、床面から 3.05m の高さにあり、ボールが上方向からリングの内側を通ることで得点となる。したがって、ゴールまでの距離が短くなる点、及びディフェンスからブロックされる危険性が少ない点で、シュートの打点は高い方が有利である。低身長のプレイヤーは高い打点を得ることが困難であるため、シュート時に大きなハンディキャップを持っている。低身長のプレイヤーがよりシュートを打つ機会を増やすことを目的に、ルールの設計を考える。

オフENSEの低身長プレイヤーに対して、高身長プレイヤーが至近距離でディフェンスに入ると、低身長プレイヤーのシュートコースが容易に塞がれてしまう。そこで、オフENSEのプレイヤーの身長がディフェンスのプレイヤーの身長よりも

低い場合、オフENSEのプレイヤーへの接近を制限するルールを考えた。

ボールを持った低身長のプレイヤーを中心に「ゾーン」と呼ぶ円形の空間を新たに定義する。相手の高身長のプレイヤーがこのゾーン内に侵入することに対してペナルティを設定することで、高身長プレイヤーが低身長プレイヤーに接近してプレイすることに制限をかける。ゾーンの広さは、標準を半径 90cm とし、プレイヤー間の身長差が大きければゾーンも広くし、身長差が小さければゾーンも小さくする。半径 90cm は、バスケットボールの派生競技であるネットボール[27]に、ボールを保持するプレイヤーから3フィート以内のディフェンス行為を禁じている類似したルールが存在するため、これを元に設定した。図 18 は、ボールを持った青のプレイヤーの足元に存在するオレンジ色のゾーン内に、ディフェンスの高身長プレイヤーは入れないことを示している。

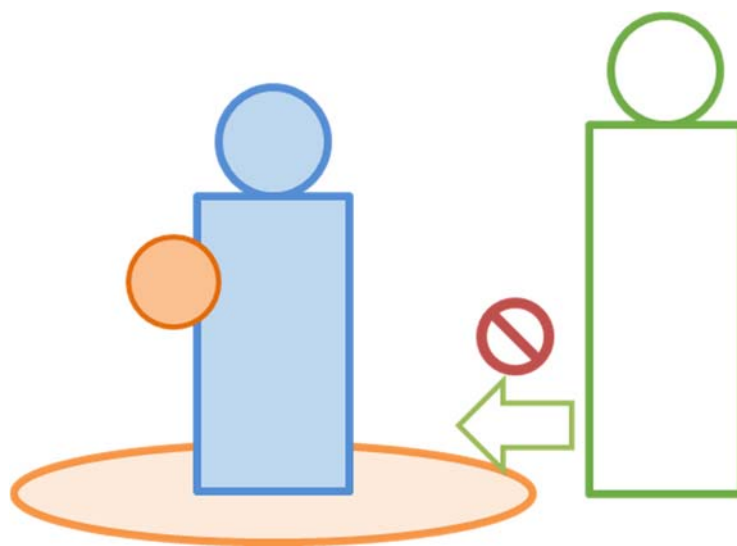


図 18 オフENSEより高身長のプレイヤーは侵入が制限されるゾーン

ゾーンの適用タイミングは、低身長プレイヤーがボールを受け取ってドリブル

やパスをするまでの間、もしくはドリブルをやめた時点からパスやシュートをするまでとした。ドリブル中にゾーンを適用すると、オフェンスのアドバンテージが大きすぎると考えられるためである。また、ゾーンに対してディフェンスは全く侵入することができない場合と、ディフェンスの身長よりも低くしゃがみこむことで侵入することができる場合の2パターンの制限を考えた。ゾーンに対して対抗手段を作ることで、低身長プレイヤーに一方的にハンディキャップを与えるのではなく、高身長プレイヤーに対抗手段を利用して挑戦するという新たなモチベーションを持たせることを目的とした。

図19に、ゾーンの有無によって生じる、低身長プレイヤーのシュートコースの変化について示す。ゾーンがない場合、低身長プレイヤーのシュートコースは、接近した高身長のディフェンスによって、ふさがれてしまう。一方、ゾーンがある場合、高身長ディフェンスは直立した状態では、ゾーンの半径分だけ低身長プレイヤーから離れるため、その分シュートコースが広がる。また、しゃがみこむことで、ゾーン内でのディフェンスが可能であるが、しゃがんでいる分低身長プレイヤーのシュートコースをふさぐことは難しくなることが期待される。

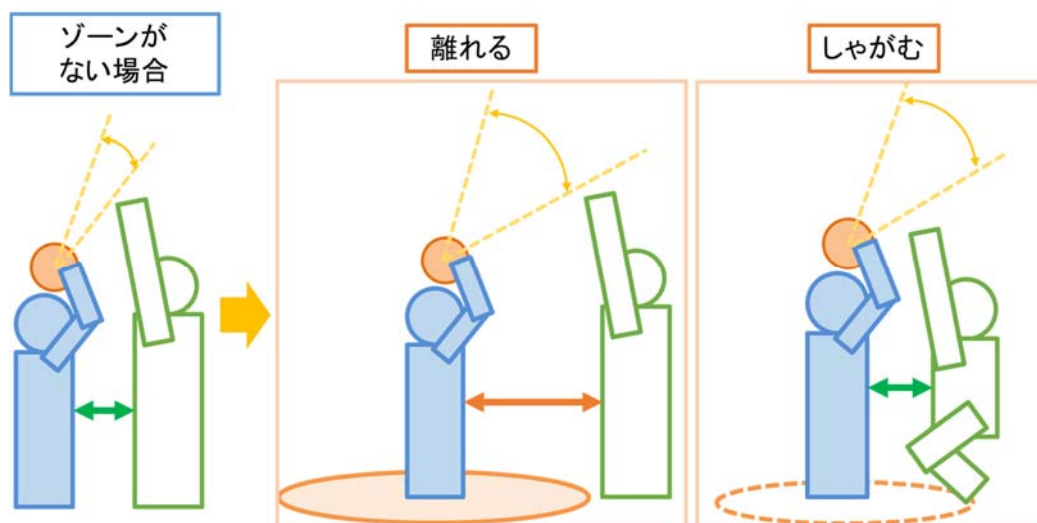


図 19 ゾーンによって低身長プレイヤーのシュートコースが広がる様子

バスケットボールには、2種類のルール違反が存在する。一つ目は「ファウル」と呼ばれ、相手のプレイヤーに対して特別な接触の仕方をした場合、もしくはスポーツマンとして相応しくない行為をした場合に宣言される。ペナルティにはいくつかの例があり、多くの場合相手に対してフリースローが与えられる。ファウルの例に、チャージングやホールディング等がある。二つ目は「ヴァイオレーション」と呼ばれ、前述のファウルに当てはまらない違反行為を示す。例としてトラベリングや3秒ルール等、主にプレイヤー同士の接触のないプレイに対して宣言される。ペナルティは基本的に相手チームのスローインである。提案するゾーンへの侵入行為に対する違反は、二つ目の「ヴァイオレーション」に分類されるのが適していると考えられる。以降、この侵入行為による違反を「ゾーン・ヴァイオレーション」と呼ぶことにする。

## 4.2 システム構成

### 4.2.1 ハードウェア

ユーザトラッキングのために Kinect を使用する。プレイヤーが別のプレイヤーの後ろに隠れてしまい、計測不可となるオクルージョンの問題を回避するために、コート全体を見下ろせる高所から床向きに Kinect を設置し、俯瞰視点からの計測を行う。

ゾーンをプレイヤーや観客にわかりやすく示すために、プロジェクタによる映像投影を行う。コートの床面に投影するため、プロジェクタも Kinect 同様の高所に設置し、床向きに設置する。

図 20 に電気通信大学の第一体育館アリーナに設置した装置類を示す。Kinect とプロジェクタから床までの距離は約 6m である。この環境でプロジェクタが床面に映像投影できる最大範囲は縦 3.2m, 横 4.9m であった。



図 20 体育館に設置した装置類

## 4.2.2 プレイヤの位置計測

Kinect で取得したデータからプレイヤーの位置を計測し、計測データを映像表示プログラムに送信するプログラムを作成した。

計測プログラム全体の処理フローを図 21 に示す。3.2 節の処理と同様に、プロジェクタで映像投影できる範囲をコートとして設定し、コート座標系へ変換するクォータニオンと平行移動行列を求める。その後、背景差分に使用するための深度画像を取得する。

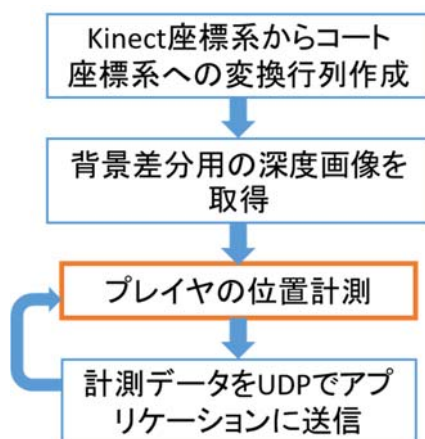


図 21 計測プログラム全体のフロー

プレイヤーの位置計測の処理フローを図 22 に示す。Kinect で毎フレーム深度データを計測する度にこの処理を行う。

最初に、新しく取得した深度画像と、あらかじめ背景として保存しておいた深度画像との差分を計算し、設定した閾値で二値化する。その後、二値化画像の画素値が 1 の画素それぞれに対応する RGB 値を取得し、カラー画像を作成する。

次にカラー画像に対して色域抽出を行い、プレイヤー領域を見つける。バスケットボールでは、複数のプレイヤーが至近距離でプレイする状況が多いため、背景差分によって抽出した前景画像を輪郭検出によって領域分割すると、複数のプレイヤーが同じ領域の一部として検出されてしまう。3.2.3節のボロノイ分割では、接近頻度の高いバスケットボールの試合に対処することが困難で、試合に支障が出る頻度で分割に失敗してしまう。この問題を解決するために、プレイヤーにはそれぞれ異なる色のついたニット帽を被ってもらい、色域抽出によってプレイヤーを一人ずつ検出する。実験では、低身長プレイヤーと高身長プレイヤーがそれぞれ一人ずつの対戦を行ったため、低身長プレイヤーに赤の帽子を、高身長プレイヤーに青の帽子をそれぞれ被ってもらった。色域抽出は、画像の各画素が持つRGB値のHSV変換を行った後、H,S,Vそれぞれの値が指定した範囲以内の画素のみ抜き出すことで行う。実験では赤の範囲を  $H(^{\circ}):340\sim10$ ,  $S(\%):60\sim90$ ,  $V(\%):10\sim95$ , 青の範囲を  $H(^{\circ}):210\sim240$ ,  $S(\%):70\sim100$ ,  $V(\%):30\sim85$  とした。

色域抽出後、輪郭抽出を行う。得られた輪郭の内、面積が最大の領域をプレイヤーの領域と見なす。この領域の持つ全画素のKinect座標系の3次元データをコート座標系に変換し、高さが最大となる最高点の画素を検索する。



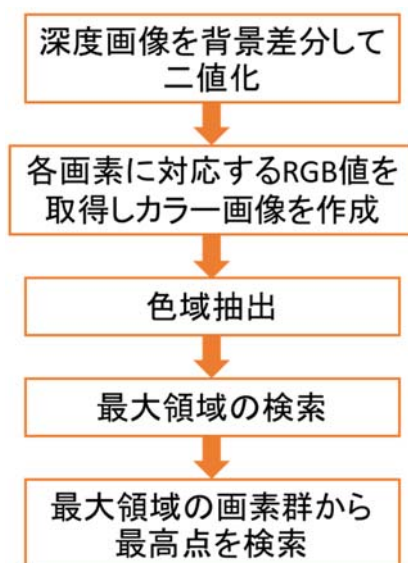


図 22 プレイヤの位置計測のフロー

実際に体育館の環境で、赤帽子と青帽子をそれぞれ被ったユーザが立っている様子を別のカメラで撮影した画像が図 23 である。この様子を Kinect で計測し、プログラムで処理した結果を図 24 に示す（処理の関係で位置関係が左右反転している）。白の矩形で囲んだ領域が、検出したそれぞれの帽子の領域である。また、それぞれの領域の最高点を点で示しており、矩形の右に示した数値が最高点のコート床面からの高さである。図 25 では、赤帽子のユーザは両手を頭よりも高く上げ、青帽子のユーザはしゃがんでいる状態で計測した結果である。帽子の領域が正確に検出できていることが確認できる。



図 23 コート上にプレイヤーが立っている様子

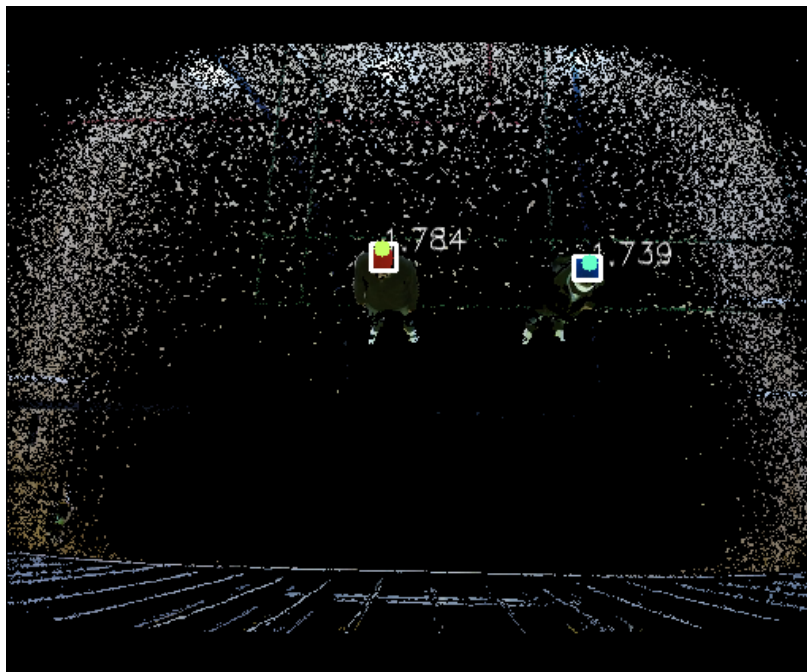


図 24 プレイヤ領域の抽出と最高点の高さ表示

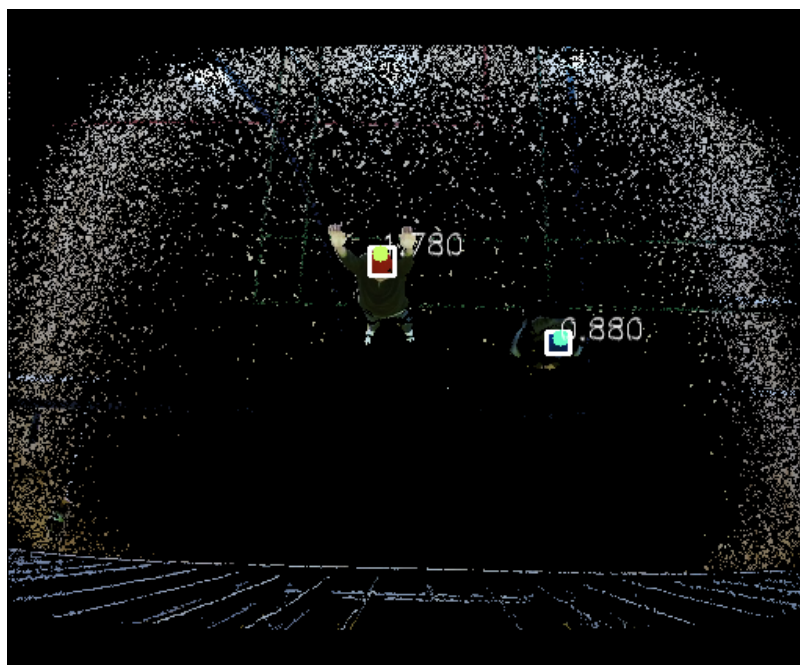


図 25 プレイヤの頭の高さ計測の結果

最後に、計測したプレイヤーのデータを、UDP 通信によってアプリケーションプログラムに送信する。その後、また新たに深度画像を取得して次の処理を行う。このループを終了処理されるまで繰り返す。

### 4.2.3 アプリケーションプログラム

アプリケーションプログラムは Unity を使用して作成した。

図 26 にプロジェクトで実際に映像を投影した結果を示す。赤帽子を低身長プレイヤー、青帽子を高身長プレイヤーとしている。ゾーンを適用するのは低身長プレイヤーだけであるが、高身長プレイヤーの立つ位置にも、目印として小型の円を表示している。ゾーンが有効であり、青帽子のプレイヤーが入ることができない状態が上の画像である。青帽子のプレイヤーがしゃがみ込むことで、ゾーンの見た目が変化し、ゾーンの中に入ることができることを視覚的に示している。

また、ゾーンの適用は低身長プレイヤーがボールをホールドしている時に限定するため、ドリブル中は図 27 のようにゾーンを隠し、代わりに小型の円を表示する。ドリブルとホールドのゾーンの切り替えはシステムの操作を担当する者が手動で行う。

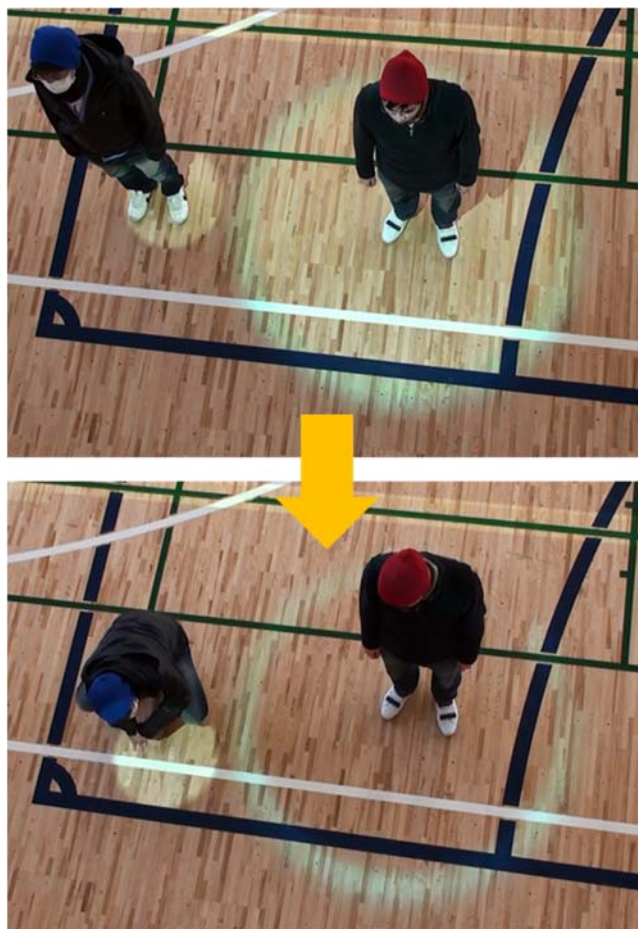


図 26 高身長プレイヤーの姿勢による低身長プレイヤーのゾーンの見た目の変化

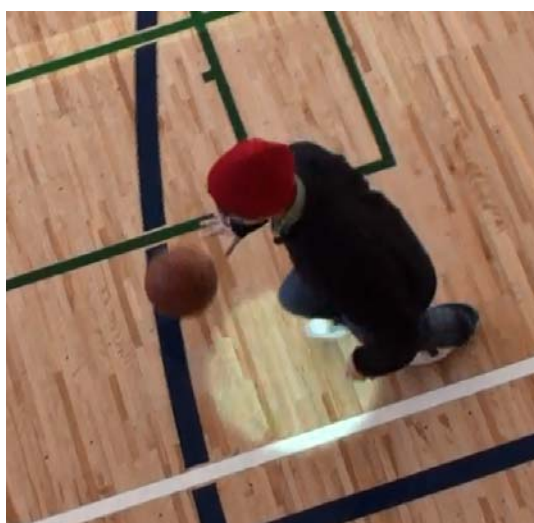


図 27 ドリブル中はゾーンが消えて小型の円が表示される

また、有効なゾーンに高身長プレイヤーが侵入した結果ゾーン・ヴァイオレイションとして判定された場合、図 28 のようにゾーンは赤く変化し、ヴァイオレイション判定を視覚的に表示する。さらに、ホイッスルの効果音をスピーカで再生することで、プレイヤーに聴覚的にフィードバックを与える。



図 28 ゾーン・ヴァイオレイション判定時の警告表示

## 4.3 実験

### 4.3.1 攻守固定シュート 20 本

ゾーンの適用による、低身長プレイヤーのシュート機会の増加具合の検証を目的とした。

オフENSとして低身長のプレイヤーを一人、ディフェンスとして高身長のプレイヤーを一人という組み合わせで 1on1 の対戦を攻守交替せずに 20 本行う。オフENSはスリーポイントラインの外側、ディフェンスはフリースローライン上にそれぞれ立ち、ディフェンスがオフENSにボールをパスし、オフENSがボールを受け取った時点を対戦開始とする。オフENSがシュートを打つか、ディフェンスがボールをスティールするまでを 1 本とする。

対戦は、ゾーン無しの通常のルール、ディフェンスの侵入を一切禁じるゾーン①を適用したルール、ディフェンスがオフENSの身長より一定の高さ頭を低くした姿勢によって侵入することができるゾーン②を適用したルールの、3 種類の条件で行った。ただし、ゾーン有りのルールでは、ディフェンスがゾーンに侵入してヴァイオレーション判定を受けても対戦を継続することにした。その代わりに、ディフェンスには出来る限りファウル判定を受けないように動くよう注意した。対戦の様子はビデオカメラで録画した。ゾーン①ルール、ゾーン②ルールの対戦後に、参加者に対してアンケートを行った。

今回の実験参加者は、低身長プレイヤーには身長 165cm 前後の人を、高身長プレイヤーには 180cm 前後の人を集めた。それぞれ 4 人ずつの 4 組の組み合わせを作った。低身長の参加者の内、二人は部活動などでバスケットボールを 4 年以上経験していた。残りの二人はバスケットボールの初心者であった。高身長の参加者は、一人だけ中学校の部活でバスケットボールを経験した者で、残りの 3

人はバスケットボールの初心者である。

### 4.3.2 試合形式

スポーツのルールを考える上で、違反行為に対してどの程度のペナルティを設定するかは重要である。例えば、フリースローについて考えてみる。フリースローはディフェンスによる妨害が一切入らない状況でシュートができ、フリースローが与えられたチームにとって大きなアドバンテージとなりうる。フリースローはファウルの状況によって複数回与えられることがあるが、最終投以外は、ボールを投げるスロワー以外のプレイヤーは基本的にシュートの様子を見ているしかない。また、試合時間はファウル判定時から、フリースローの最終投が成功した場合はスローインするまで、失敗した場合はリバウンドボールをプレイヤーの一人が触れるまで、停止される。スロワーはボールを受け取ってから一定時間以内にシュートしなければならないが、試合が中断する時間は他のペナルティに比べて長い。一方、スローインについて考えると、直接ゴールを狙えないため、スローインを与えられたチームにとってのアドバンテージは低い。しかし、すぐに試合を再開できるため、試合のテンポを崩しにくい。

このように、それぞれのペナルティの特徴を踏まえ、提案するゾーン・ヴァイオレイションに対してどういうペナルティを設定すべきかを検証することを目的に実験を計画した。4.1節でゾーン・ヴァイオレイションは、ヴァイオレイションに分類したが、フリースロー等、スローイン以外のペナルティも候補として考え、検証する。

オフenseとして低身長のプレイヤーを一人、ディフェンスとして高身長のプレイヤーを一人という組み合わせで 1on1 の対戦を行う。実験①と異なり、オフ



ンスとディフェンスを交替しながら対戦する。試合のルールは、ストリートバスケットボールの国内リーグである SOME CITY の、ハーフコート 3on3 のルール[28]を参考に次のように決めた。

- 試合時間は1試合2分。
- 攻守交替時、フリースロー時には試合時間を停止する。
- 試合開始時の攻守はじゃんけんで決定する。
- オフェンスがシュートを決めた場合や、オフェンスがボールをコート外に出してしまった場合、ディフェンスがボールをスティールした場合、ディフェンスの攻撃で再開する。
- 攻守交替やファウルなどで試合を再開する場合、オフェンスはスリーポイントラインより外側に、ディフェンスはフリースローライン上にそれぞれ立つ。ディフェンスがボールをオフェンスにパスすることで試合を再開する。
- シュートは1本2点、フリースローは1本1点とする。スリーポイントシュートはなし。
- フリースロー後はシュートの成功・失敗問わず、ディフェンスの攻撃で試合を再開する。

このルールを基準として、さらにゾーン・ヴァイオレイションのルールを追加して試合を行う。

試合は3種類行った。まず、ゾーン・ヴァイオレイションのない通常ルール。

2つ目は、通常ルールに次の2つのルールを追加した試合である。

- ゾーン・ヴァイオレイションの判定がなされた場合、ゾーンを持つプレイヤーの攻撃から試合を再開する。また、ヴァイオレイションを宣言されたプ

レイヤのファウルカウントが1つ増える。

- ファウルカウントが3つ以上付くと失格となる。

3つ目は、通常のルールに次のルールを追加した。

- ゾーン・ヴァイオリションの判定がなされた場合、ゾーンを持つプレイヤーにフリースローが一本与えられる。

対戦の様子はビデオカメラで録画した。各試合後に、参加者に対してアンケートを行った。

今回の実験参加者は、低身長プレイヤーには身長165cm前後の人を、高身長プレイヤーには180cm前後の人を集めた。それぞれ3人ずつの3組の組み合わせを作った。低身長の参加者の内、二人は部活動などでバスケットボールを4年以上経験していた。残りの1人はバスケットボールの初心者であった。高身長の参加者は、一人だけ中学校の部活でバスケットボールを経験した者で、残りの2人はバスケットボールの初心者である。

## 4.4 結果

### 4.4.1 攻守固定シュート 20 本

実験を行った 4 組のシュート回数・セットシュート回数・シュート成功数を表 1 に示す。上段 2 組はオフェンスが経験者で、下段 2 組はオフェンスが初心者である。

シュート回数についてグラフに表したものが図 29 である。A 対 C の組み合わせでゾーンを使用した後で 10 前後増加していることがわかる。

また、B 対 D の各 20 本におけるシュートの内セットシュートの内訳を図 30 に示す。通常ルールでは、セットシュートの割合がおよそ半分であったが、ゾーンを使用した後には割合が増加していることがわかる。

表 1 攻守固定シュート 20 本のシュート回数結果

ディフェンス オフェンス (身長[cm], バスケット経験[年])	対戦条件	シュート回数	セットシュート回数	シュート成功数
B(184, 0) D(168, 4~6)	通常ルール	16	7	6
	ゾーン①	19	17	9
	ゾーン②	20	16	7
E(179, 1~3) D(164, 4~6)	通常ルール	18	8	5
	ゾーン①	18	8	8
	ゾーン②	20	6	8
A(180, 0) C(165, 0)	通常ルール	5	5	0
	ゾーン①	16	15	3
	ゾーン②	14	10	0
F(179, 0) I(166, 0)	通常ルール	17	17	2
	ゾーン①	20	20	4
	ゾーン②	16	15	7

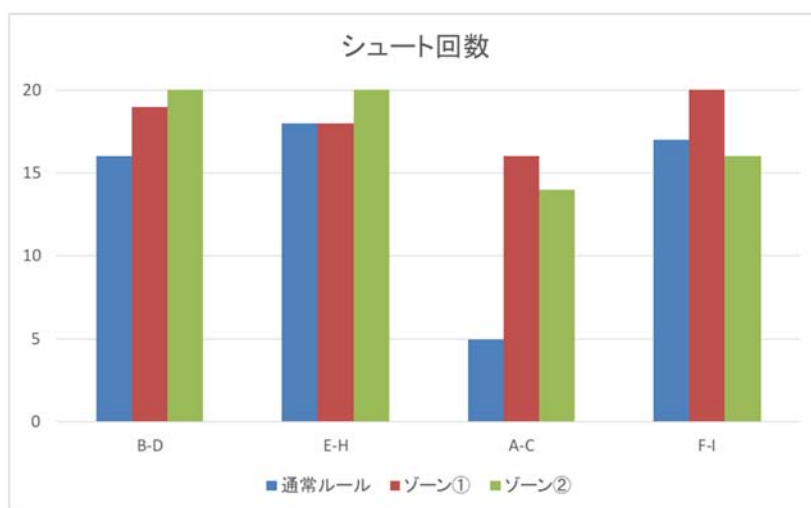


図 29 4組のシュート回数のグラフ

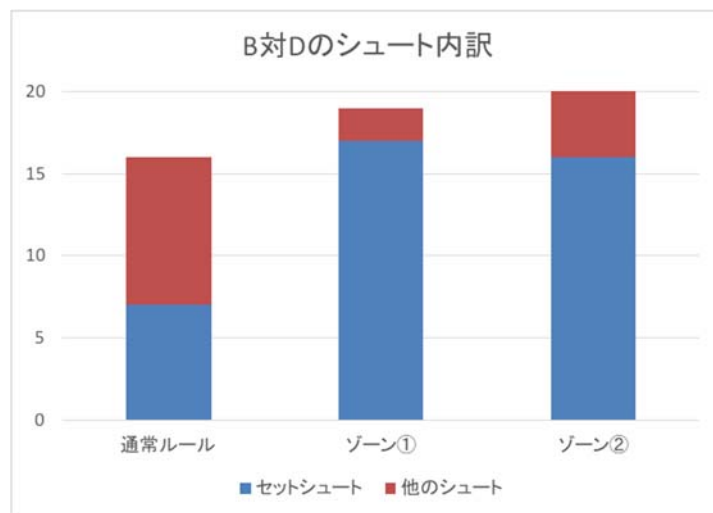


図 30 B 対 D におけるセットシュートの内訳

また、ゾーン①とゾーン②の実験の後に、通常ルールと比較しながら回答してもらったアンケートの結果をオフェンスとディフェンスの平均をそれぞれ求めたものが表 2 である。回答は 1~5 の数字で、1 から順に「そう思わない」、「あまりそう思わない」、「変わらない」、「少しそう思う」、「そう思う」となっている。オフェンスについて見ると、「相手を攻略することが簡単になった」と「相手が弱くなったように感じた」がそれぞれ 3 より大きい。一方、ディフェンスの「相手を攻略することが難しくなった」「相手が強くなったように感じた」もそれぞれ 4 以上であった。このことから、低身長プレイヤーに適用したゾーンはハンディキャップとして実力差に少なからず変化をもたらしていることがわかる。

また、ディフェンスの「自分の力を遺憾なく発揮することができた」の回答は、ゾーン①で 2 だったが、ゾーン②では 3.25 と増加している。実験中の反応からも、一切ゾーンに侵入できないゾーン①よりもしゃがむことで対抗できるゾーン②の方がディフェンスにとってプレイしやすいと感じている印象を受け

た.

表 2 攻守固定シュート実験のアンケート結果の攻守別平均

ルール	アンケート項目	オフェンス	ディフェンス
ゾーン①	特殊ルールのせいで思う通りのプレイができなかった	2.25	4.75
	自分の力を遺憾なく発揮することができた	3.75	2
	相手を攻略することが難しくなった	1.5	4.75
	相手を攻略することが簡単になった	4.25	1.25
	相手が強くなったように感じた	1.75	4.5
	相手が弱くなったように感じた	3.25	1.25
	通常ルールに比べて楽しいと感じた	3	3.25
ゾーン②	特殊ルールのせいで思う通りのプレイができなかった	2	4.5
	自分の力を遺憾なく発揮することができた	3.25	3.25
	相手を攻略することが難しくなった	2	3.75
	相手を攻略することが簡単になった	4	2.25
	相手が強くなったように感じた	2.5	4
	相手が弱くなったように感じた	3.25	2
	通常ルールに比べて楽しいと感じた	3.25	4

また、高身長のプレイヤーからは「高身長に対して不利すぎると感じた」とのコメントが得られた。低身長のプレイヤーからは「ゾーン①は初心者向け、ゾーン②は経験者向けと切り替えた方が良いと感じた」とのコメントが得られた。

#### 4.4.2 試合形式

3種類の試合の内、2番目のファウルカウンtrルールの試合において、実装したプログラムの誤りが試合後に確認された。誤りの内容は高身長プレイヤーがゾーンに侵入できる身長の閾値の設定が、予定していた数値より 40cm 分高く設

定されており、高身長プレイヤーは少し姿勢を低くするだけでゾーンが無効化してしまう試合内容になっていた。3番目のフリースロールールの試合を始める前に誤りを修正した。

3種類の試合の結果を3組分まとめたものが表3である。

通常ルールの試合結果を見ると、3組とも低身長側が得点で上回っている。しかし、ゾーンを適用している、ファウルカウントルールとフリースロールールでは、逆に低身長側が負けてしまったケースも確認できる。

また、試合の総得点で比較してみると、通常ルールよりもゾーンを適用した試合の方が2~15点増加していることがわかる。

表3 選手毎の各試合の得点

選手記号	身長(cm)	バスケ経験(年)	通常	ファウルカウント	フリースロー(FT数)
D	168	4~6	2	4	11(1)
E	179	1~3	0	8	6
H	164	4~6	4	10	10(0)
F	179	0	0	4	2
I	166	0	4	4	3(2)
G	176	0	0	2	8

試合形式の実験の後に行ったアンケートの結果を、低身長と高身長のプレイヤーで平均をとったものが表4である。通常ルールでの試合から、相手の強さの評価をしてもらった結果、高身長側に低身長プレイヤーが強いと評価されていることがわかった。

高身長プレイヤーの「自分の力を遺憾なく発揮することができた」の回答がフリースローで1減少し、逆に低身長プレイヤーは1上昇していることが読み取れる。

表 4 試合形式実験のアンケート結果の身長帯別平均

ルール	アンケート項目	低身長	高身長
通常ルール	相手プレイヤーの強さを 1(弱い)~5(強い)で評価してください	2.67	4.67
ファウルカウント	特殊ルールのせいで思う通りのプレイができなかった	2.33	3.00
	自分の力を遺憾なく発揮することができた	2.67	3.00
	相手を攻略することが難しくなった	2.33	4.00
	相手を攻略することが簡単になった	3.33	1.33
	相手が強くなったように感じた	2.33	4.00
	相手が弱くなったように感じた	2.67	1.67
	通常ルールに比べて楽しいと感じた	3.33	3.00
フリースロー	特殊ルールのせいで思う通りのプレイができなかった	2.67	4.67
	自分の力を遺憾なく発揮することができた	3.67	2.00
	相手を攻略することが難しくなった	2.33	5.00
	相手を攻略することが簡単になった	3.67	1.33
	相手が強くなったように感じた	2.33	5.00
	相手が弱くなったように感じた	2.67	1.33
	通常ルールに比べて楽しいと感じた	3.67	3.00

また、高身長のプレイヤーからは「近づきにくくなった。ゾーン・ヴァイオリション制度を高身長プレイヤーにもほしい」とのコメントが得られた。また、一部のプレイヤーから、試合中にゾーンの状態を確認することが難しい、といった旨のコメントが得られた。



## 4.5 考察

提案するハンディキャップが試合にどのような影響を及ぼしたのか、実験結果を基に考察する。

まず、攻守固定シュート 20 本実験では、ゾーンを適用したことで、低身長の初心者プレイヤー C はシュート回数が増加した。通常ルールでは途中でディフェンスにスティールされてしまうケースが目立ったが、ゾーンの適用によってスティールされる回数が減ったことで、シュート回数が増加したと考えられる。試合形式でも、H 対 F の試合は、低身長の H がゾーン適用後、得点を大きく伸ばしている。また、アンケートの結果からも、低身長側は相手を攻略しやすいと感じ、高身長側は攻略しにくいと感じる結果が得られ、低身長側へのゾーンの適用が低身長側を有利にする効果があることが確認できた。その他、低身長の経験者プレイヤー D は、通常ルールではディフェンスをドリブルでかわして、レイアップシュートに持ち込むことが多かった。しかし、ゾーン適用後は、セットシュートとレイアップシュートがほぼ半々の割合であった。特定のシュートのみを狙うオフenseは、ディフェンスにとって行動を予測しやすいため、様々な位置や姿勢からシュートを打つことで効果的な攻撃が行える。ドリブルのスピードを失わずにシュートできるレイアップシュートと違い、セットシュートはオフenseが一度その場に止まる分、ディフェンスに対して隙ができてしまう。ゾーンがあることで、ディフェンスをあまり警戒せずにセットシュートを打つことにつながっていると想定される。

一方で、試合形式では D 対 E のファウルカウントルールの試合と、I 対 G のフリースロールールの試合では、低身長側が高身長側に負けた結果となった。D 対 E の敗因の一つとして、プログラムの誤りが考えられる。プレイヤー D は試合

中ゾーンを上手く利用しようと、あえてゾーンが出現するのを待ってセットシュートを狙う場面が何度かあった。しかし、ディフェンスのプレイヤーは少し腰を落としただけでゾーンに侵入できたため、通常ルールと同等なディフェンスができていた。また、ドリブル中とボールホールド中のゾーンの切り替えは手動で行われていたため、切り替わるまでに時間が生じることもあった。こうした、プレイヤー D の想定した結果との差が生じてしまったのが、敗因につながったと考える。したがって、プログラムの不具合を無くすことは当然のことであるが、プレイヤーの行動に対して遅延なく反応できるシステムの実装が重要である。

また、I 対 G の試合は、高身長の G が試合に慣れてきたことが I の大きな敗因であった。G と I は体格差が大きく、G がオフェンス時には、体格を活かしてゴール下で勝負をするケースが目立った。また、試合後の I の話から、I はあまりゾーンを利用しないように対戦したという。ゾーンを利用するとフリースロー状態となってしまう、面白さを感じないというのが理由であった。身長や体格の差はシュート以外にも影響を及ぼし、その影響は無視できない。そのため、シュート時以外でも身長による不利をカバーできるようなルールを考える必要がある。また、適用することで大きく有利となるハンディキャップは、適用されるプレイヤーの意欲も低下させてしまう。ゾーンのサイズを身長差に合わせて変化させるなど、より詳細に調整が必要であることが確認できた。

## 第5章

### 考察

#### 5.1 二つの設計方針の比較

第3章では、「同じ試合の中で、それぞれの身長を活かすことができるルール」を設計方針として Dual Hockey というスポーツを設計した。床と天井の2画面で並行に対戦することで、低身長と高身長のプレイヤーそれぞれが得意な画面を分けるような設計ができた。Dual Hockey は、実装環境次第でサッカーコートの大さで試合を行うことも可能である。その場合、サッカー同様に11人のプレイヤーで1つのチームが構成されることも考えられる。この時、チーム内に、低身長の選手や高身長の選手、あるいは平均的な身長の選手をバランスよく配備することがチーム構成の基本になると予想される。一方で、あえて低身長の選手を多くするようなチームも現れるだろう。高身長の選手が求められる現状と異なる形で、選手の身長がより重要な役割を持つ状況が予想される。

第4章では、「身長によって生じる不利を低減させるルール」という設計方針によって、バスケットボールに低身長選手のハンディキャップとして、ゾーン・ヴァイオレイションという新たなヴァイオレイションを追加した。実験から、低身長選手がシュート時に、ゾーンによって通常よりも有利となる状況を

---

作りだせることが確認できた。しかし、ディフェンス面や、リバウンド等、低身長が不利となる状況は他にも存在し、それらの状況もカバーするようなハンディキャップを追加することが、必要である。

---

## 5.2 今後の展望

Dual Hockey は、現状の環境では1対1までしかまともに対戦できない。チームによる対戦では、低身長と高身長の組み合わせなどが重要となる可能性がある。実装環境を改善して、より様々な遊び方を試したい。

バスケットボールのゾーン・ヴァイオリションについては、オフenseとディフェンスの身長差の大きさに応じたゾーンのサイズの調整や、ペナルティの方法についてより様々な実験を行っていく必要がある。

## 第6章

### 結論

本研究は、先天性の高い身体的特徴の差で、試合中の実力に優劣が生じにくいルールデザインの手法を研究することを目的とした。「同じ試合の中で、それぞれの身長を活かすことができるルール」、「身長によって生じる不利を低減させるルール」という 2 つのルールデザインの方針を設定し、それぞれの方針に基づいてスポーツの設計を行った。

1 つ目の設計方針を基に、Dual Hockey を作成した。テストプレイによって、体験者のプレイ方法の分析やフィードバックを得て、評価した。

次に 2 つ目の設計方針を基に、バスケットボールに新しいハンディキャップを導入した。低身長選手と高身長選手の組み合わせでハンディキャップを適用した試合を行う実験を行った。結果として、ハンディキャップの効果は見られるが、調整が必要であること、他のシチュエーションにも対応したハンディキャップが必要であることが確認された。

最後に 2 つの設計方針の比較を行った。今後は、身長だけでなく、体重等他の身体的特徴に着目したルールデザインの手法を研究する。

## 参考文献

- [1] 水野忠文： 日本人体力標準表——身長基準の回帰評価法による，東京大学出版会(1980).
- [2] 大神訓章，日高哲朗，内山治樹，佐々木桂二，浅井慶一： バスケットボールプレイヤーの身長がチーム戦力に及ぼす影響，山形大学紀要（教育科学） 第12巻 第4号（2001） 59-72(427-440).
- [3] 日本小学生バレーボール連盟. 小学生バレーボール・ルールの変遷.  
<http://jeva-web.com/rule-2.shtml> (visited 2016/1/27)
- [4] Wood, Andrew R., et al. "Defining the role of common variation in the genomic and biological architecture of adult human height." *Nature genetics* 46.11 (2014): 1173-1186.
- [5] JGA 日本ゴルフ協会. ハンディキャップとは.  
<http://www.jga.or.jp/jga/html/handicap/about.html> (visited 2016/1/27)
- [6] Hawk-Eye Innovations Ltd.  
<http://www.hawkeyeinnovations.co.uk/> (visited 2016/1/24)
- [7] Fraunhofer IIS. GoalRef<sup>™</sup>  
<http://www.iis.fraunhofer.de/en/ff/kom/proj/goalref.html> (visited 2016/1/24)
- [8] STATS LLC. SportVU.  
<http://www.stats.com/sportvu/sportvu-basketball-media/> (visited 2016/1/23)

- 
- [9] NBA Media Ventures, LLC. Stats.  
<http://stats.nba.com/> (visited 2016/1/27)
- [10] ETH Zurich. Cybathlon 2016. <http://www.cybathlon.ethz.ch/> (visited 2016/1/27)
- [11] 超人スポーツ協会. <http://superhuman-sports.org/> (visited 2016/1/28)
- [12] Tomoya Ohta, Shumpei Yamakawa, Takashi Ichikawa, and Takuya Nojima. 2014. TAMA: development of trajectory changeable ball for future entertainment. In Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference (AH '14). ACM, New York, NY, USA, Article 50 , 8 pages. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2582051.2582101>
- [13] Kei Nitta, Keita Higuchi, and Jun Rekimoto. 2014. HoverBall: augmented sports with a flying ball. In Proceedings of the 5th Augmented Human International Conference (AH '14). ACM, New York, NY, USA, Article 13 , 4 pages.  
DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2582051.2582064>
- [14] Mads Møller Jensen, Majken K. Rasmussen, Florian "Floyd" Mueller, and Kaj Grønbaek. 2015. Keepin' it Real: Challenges when Designing Sports-Training Games. In Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15). ACM, New York, NY, USA, 2003-2012.  
DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2702123.2702243>
- [15] Florian 'Floyd' Mueller, Shannon O'Brien, and Alex Thorogood. 2007. Jogging over a distance: supporting a "jogging together" experience



- 
- although being apart. In CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '07). ACM, New York, NY, USA, 1989-1994. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/1240866.1240937>
- [16] エウレカコンピューター株式会社. e スポーツグラウンド.  
<http://esportsground.com/> (visited 2016/1/23)
- [17] Patrick Baudisch, Henning Pohl, Stefanie Reinicke, Emilia Wittmers, Patrick Lühne, Marius Knaust, Sven Köhler, Patrick Schmidt, and Christian Holz. 2013. Imaginary reality gaming: ball games without a ball. In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '13). ACM, New York, NY, USA, 405-410. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2501988.2502012>
- [18] Takuya Nojima, Ngoc Phuong, Takahiro Kai, Toshiki Sato, and Hideki Koike. 2015. Augmented dodgeball: an approach to designing augmented sports. In Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH '15). ACM, New York, NY, USA, 137-140. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2735711.2735834>
- [19] Florian Mueller, Cagdas Toprak, Eberhard Graether, Wouter Walmlink, Bert Bongers, and Elise van den Hoven. 2012. Hanging off a bar. In CHI '12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '12). ACM, New York, NY, USA, 1055-1058. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2212776.2212384>
- [20] David Altimira, Florian 'Floyd' Mueller, Gun Lee, Jenny Clarke, and Mark Billingham. 2014. Towards understanding balancing in exertion

- 
- games. In Proceedings of the 11th Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE '14). ACM, New York, NY, USA, Article 10, 8 pages. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2663806.2663838>
- [21] Ayaka Sato and Jun Rekimoto. 2015. Designable sports field: sport design by a human in accordance with the physical status of the player. In Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH '15). ACM, New York, NY, USA, 129-136.  
DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2735711.2735798>
- [22] Microsoft. Xbox One Kinect センサ.  
[http://www.xbox.com/ja-JP/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one/#fbid=Fdq5I\\_2cYCU](http://www.xbox.com/ja-JP/xbox-one/accessories/kinect-for-xbox-one/#fbid=Fdq5I_2cYCU) (visited 2016/1/25)
- [23] Microsoft. Kinect for Windows SDK 2.0.  
<https://dev.windows.com/en-us/kinect/tools> (visited 2016/1/25)
- [24] OpenCV. <http://opencv.org/> (visited 2016/1/25)
- [25] Eigen. [http://eigen.tuxfamily.org/index.php?title=Main\\_Page](http://eigen.tuxfamily.org/index.php?title=Main_Page) (visited 2016/1/25)
- [26] EPSON. ビジネスプロジェクター EB-1776W.  
<http://www.epson.jp/products/bizprojector/eb1776w/> (visited 2016/1/27)
- [27] International Netball Federation. <http://www.netball.org/> (visited 2016/1/24)
- [28] SOMECITY TOKYO. GAME RULE.  
<http://www.somecity.tv/tokyo/profile/rule/> (visited 2016/1/25)

## 発表文献・実績

### 口頭発表

- [1] 遠藤 直樹, 野嶋 琢也 : Augmented Sports における選手間身体能力差均  
衡化技術の研究, 第 1 回 超人スポーツ学術研究会, 2015

### 記事掲載

- [1] NHK NEWS WEB(2016/2/18)  
[http://www3.nhk.or.jp/news/web\\_tokushu/2016\\_0218.html](http://www3.nhk.or.jp/news/web_tokushu/2016_0218.html)

## 謝辞

本研究は非常に多くの方の助言や手助けにより成し遂げることができました。指導教官である野嶋琢也准教授には、研究のサポートはもちろん、就職活動等でも多くのご助言をいただきました。感謝申し上げます。

広田光一教授、佐藤俊樹助教、栗原恒弥客員准教授、東京工業大学大学院情報理工学研究科の小池英樹教授には、研究活動に関して様々のご助言をいただきました。また、情報理工学研究科総合情報学専攻の大河原一憲准教授には、スポーツ科学の研究者の視点から非常に貴重なご助言をいただきました。その他、対話型システム学講座の先輩方や同期、後輩にも感謝申し上げます。

本研究の実験には研究室外の多くの参加者の方々に協力していただきました。また、実験参加のお声かけをお願いした大河原准教授や、大久保先輩、大学の友人達にも感謝申し上げます。

修士1年の後期から、約3か月の研究留学を快く受け入れてくださった英国、City University London の Adrian David Cheok 教授にも感謝申し上げます。また、Mixed Reality Lab の学生である Gilang, Emma, Marius, 並びに同大学の Jordan や、同じく Cheok 教授の研究室に留学していた大阪大学石黒研究室の西口昇吾君には、研究以外でも海外生活に慣れない私に親切に接していただき、大変充実した海外経験を積むことができました。また、留学に関する様々な手続きや、留学中のサポートをしてくださった、電気通信大学国際交流センターの濱野哲子准教授にも感謝申し上げます。

最後になりましたが、大学入学以来、地元を離れ東京に一人上京した私の事

---

を気遣い、何不自由ない学生生活をさせていただいた家族に心から感謝申し上げます。