

Title	アンダースロー投手の新たな優位性はあるのか - VR を用いた打者からの投球の見える実験的検討 -
Author(s)	櫻井, 豊
Citation	
Issue Date	2020-09
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/17568
Rights	
Description	Supervisor:日高 昇平, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

修士論文

アンダースロー投手の新たな優位性はあるのか
-VRを用いた打者からの投球の見える実験的検討-

櫻井 豊

主指導教員 日高 昇平

北陸先端科学技術大学院大学
先端科学技術研究科
(知識科学)

令和2年9月

Abstract

There are roughly four types of baseball pitching, and among them overhand pitching is predominant due to the effect of Saber Metrics^[1], while submarine pitching is the smallest and there are currently only four players in Japan Professional Baseball. However, recent submarine pitchers continue to play an active part not only in Japan but also in international games. I thought that submarine pitchers should have not only existing advantages and disadvantages, but also new advantages that have not yet been discovered. If we could find a new advantage of submarine pitching, we thought that submarine pitchers would be more active and the number of submarine pitchers would increase. Therefore, I aimed to newly discover the superiority of the submarine pitching from the batting results when comparing the submarine pitching and other pitches. To achieve this goal, we conduct a pitching simulation using VR and examine the difference in the batter's reaction to clarify the effect of different pitching forms on the appearance and predictability of pitching from the batter's perspective.

In this research, as a first preliminary experiment, the subjects were presented with a simple virtual environment on a 2D screen or computer display, and the ease of hitting by a batter was investigated. As a result, it was suggested that the submarine pitching may be harder to hit than the overhand pitching, since the submarine pitching seemed to be faster than the overhand pitching and there was no confidence that the ball could be hit. Next, as the second preliminary experiment, we asked the subject to wear the VIVE Pro HMD, swing a bat for each pitch in the VR space, and swing the VIVE controller in the real space. As a result, it was found that 130 km/h was harder to hit the bat than 110 km/h regardless of overhand pitching and submarine pitching. In addition, it was confirmed that the VR space was closer to the contact ratio in the VR space than in the actual 2D bat swing environment. This confirmed the effectiveness of using VR.

In addition, as the main experiment, the subject swings the bat for each pitch in the VR space, and the subject swings the wooden bat in the real space. As a result, it was found that the submarine pitching of 90 km/h was almost the same without lowering the contact rate compared with the submarine pitching of 70 km/h. It was also found that the 90km/h submarine pitching hits the core of the bat most often and hits the center of the strike zone well. At 70km/h submarine pitching, it was found that the batter was hard to hit from the center to the lower corner and the inner angle from the center.

From the results of the experiment, it was found that the 70km/h submarine pitching and 90km/h submarine pitching have many difficult-to-hit courses, and conversely have some

easy-to-hit courses. Also, from the ball trajectory of each condition/course, the trajectory of the ball seen by the batter has an illusionary effect due to the height difference, and I thought that this was related to the batter's ease of hitting. This may create a strategic advantage for submarine pitching. Submarine pitching is still a deep pitching method, and there are parts that have not been clarified. Also, it is a throwing method that has many parts to clarify.

目次

第1章 序論	1
1.1 背景・動機	1
1.1.1 近年のアンダースロー投手	2
1.1.1.2 アンダースロー投手と投手全体の比較	2
1.1.2 アンダースロー投手と左打者	3
1.1.3 アンダースロー投手と国際試合	5
1.1.4 アンダースローの先行研究	6
1.2 研究目的	6
1.3 仮説	6
1.4 研究方法	7
1.4.1 VRを用いる理由	7
1.5 論文の流れ	8
第2章 予備実験1：画面上に提示した簡易バーチャルリアリティ環境での 投球の打ちやすさの検討	9
2.1 実験目的	9
2.2 実験方法	9
2.2.1 実験参加者	10
2.2.2 実験刺激と実験の状況	10
2.2.3 実験の手続き	10
2.3 実験結果	12
2.3.1 ボールの予測誤差	12
2.3.2 ボールの通過地点予測	13
2.3.3 球速予測	14
2.3.4 打球自信度	14
2.4 考察・課題	15
第3章 予備実験2：VR空間上に提示した投球の打ちやすさの検討 (実空間：VIVE コントローラー)	16
3.1 実験目的	16
3.2 実験方法	16
3.2.1 実験参加者	16

3.2.2	実験刺激と実験の状況.....	16
3.2.3	実験の手続き	17
3.3	実験結果	18
3.3.1	ボールの接触率.....	18
3.3.2	バットの芯からの誤差.....	19
3.3.3	接触したときのボールの位置.....	21
3.4	考察・課題	22
第4章 本実験：VR空間上に提示した投球の打ちやすさの検討		
	(実空間：木製バット)	23
4.1	実験目的.....	23
4.2	実験方法	23
4.2.1	実験参加者	23
4.2.2	実験刺激と実験の状況.....	23
4.2.2.1	投手の導入.....	24
4.2.2.2	木製バットへのトラッカーの取り付け	24
4.2.2.3	実験手順	25
4.2.3	実験の手続き	26
4.3	実験結果	27
4.3.1	ボールの接触率.....	27
4.3.2	バットの芯からの誤差.....	28
4.3.3	接触したときのボールの位置.....	29
4.3.3.1	接触したときのボールの位置の閾値	30
4.4	考察・課題	31
第5章 結論		
参考文献		
37		

目次

図 1	マウンドからホームベースまでの距離.....	9
図 2	2D 実験時の投球動画.....	10
図 3	2D 実験時の様子.....	11
図 4	ストライクゾーンと 2D 実験時の調査用紙.....	12
図 5	通過地点予測.....	13
図 6	球速予測.....	14
図 7	打球自信度.....	15
図 8	バッティングゾーン.....	17
図 9	VR 実験時の投球動画.....	17
図 10	VR の実験時の様子.....	18
図 11	各条件の接触率.....	19
図 12	バットの芯からの誤差の算出法.....	20
図 13	バットの芯からの誤差.....	20
図 14	トライクゾーンの内訳.....	21
図 15	ボールが接触したときの回数.....	21
図 16	VirtualCast 内での投手の作成.....	24
図 17	木製バットへの穴あけ作業.....	25
図 18	トラックを取り付けた木製バット.....	25
図 19	VR 実験時の投球画面(投手付き).....	26
図 20	木製バットを持った時の実験時の様子.....	26
図 21	各条件の接触率.....	27
図 22	バットの芯からの誤差.....	28
図 23	ストライクゾーンの内訳.....	29
図 24	接触したときのゾーンごとのボールの接触回数.....	30
図 25	当たった回数のゾーンごとの順位.....	31
図 26	70km/h(over)のストライク 3 × 3 マスの軌道.....	32
図 27	90km/h(over)のストライク 3 × 3 マスの軌道.....	33
図 28	70km/h(under)のストライク 3 × 3 マスの軌道.....	34
図 29	90km/h(under)のストライク 3 × 3 マスの軌道.....	35

表目次

表1 アンダースロー投手と投手全体の成績の比較(2017年度).....	2
表2 アンダースロー投手と投手全体の成績の比較(2018年度)	2
表3 アンダースロー投手と投手全体の成績の比較(2019年度).....	2
表4 2019年度のNPBの右投手の成績.....	3
表5 2019年度のNPBの左投手の成績.....	3
表6 渡辺俊介選手の2005~2013年の打者別成績	4
表7 牧田和久選手の2011~2017年の打者別成績	4
表8 高橋礼選手の2018~2019年の打者別成績.....	4
表9 国際大会でのアンダースロー投手の成績 ¹	5
表10 2D実験時の予測誤差と接触率.....	13
表11 バットの芯からの誤差.....	20
表12 ボールが接触したときの回数.....	21
表13 バットの芯からの誤差.....	28

第1章 序論

1.1 背景・動機

近年プロ野球の世界では、セイバーメトリクス^[1]という野球ゲームの統計データの分析やバイオメカニクスによる身体データの分析により、従来の経験型の野球からデータ駆動型の野球に変わってきている。これにより、対戦回数が少ない選手に対しても対策がとれるようになった。また、数値化されることで選手の特徴や得意・苦手を発見しやすくなった。このことにより、打者は慣れていない投手に対しても対応できるようになり、投手は慣れない打者であってもその打者の苦手な球種・コースに絞って投げるようになった。

その結果、オーバースローが主流になる一方で、アンダースロー投手は急激にその数を減らしている。過去には人数は多くはなくとも、十数人のアンダースロー投手が日本プロ野球界に存在していた。しかし、近年ではアンダースロー投手が次々に打ち込まれるようになり、元読売ジャイアンツの会田有志投手(2007~2008年)や元東北楽天イーグルズの加藤正志投手(2015~2016年)などといったアンダースロー投手が活躍出来ずに現役に幕を下ろしていった。現在2020年では、日本プロ野球(NPB)で活躍する選手は4人のみである。その原因としては、アンダースロー投手はほぼ全員右投げであるがゆえに、左打者の増加により、ボールが打者に対して近づいてくるため、またカーブなどの変化球が打者側に曲がるため球筋を見やすくなってしまい打たれやすくなってしまったことやセイバーメトリクスに基づき投手数が少なくても対策されるようになったこと、それに指導者不足によりそもそも教わる方法が少ないことなどが挙げられている。

アンダースローに左投げがほとんどいない理由としては、アンダースローは他の手段では活躍できなかった選手がとる最後の手段とも言われており^[2]、数が少なく貴重とされる左投げの投手は、そもそも変則投球といわれているアンダースローにわざわざ変更しないからではないかと言われている。しかし、数が少なくなっているがアンダースロー投手は近年も活躍し続けている。

アンダースロー投手の既存の優位点としては、浮き上がるようなボールを投げられることや、投球フォームを調整しやすく、いつ球がリリースされるか分かりにくい投球ができるので、打者がタイミングを狂わせやすいこと^[2]が挙げられる。一方で、欠点としては速いボールを投げにくいことや、投球に時間がかかるので盗塁されやすいことが挙げられる。

1.1.1 近年のアンダースロー投手

そもそもアンダースローとは、投げる際に肩のラインが水平より下の位置から投げる投

法のことである^[2]。一昔前では、通算 284 勝を記録した山田正志(1969~1988 年)や新人王を獲得し、通算 112 勝を記録した松沼博久(1979~1990 年)といった投手が存在した。近年で活躍した選手では、2001~2013 年に千葉ロッテマリーンズで先発として活躍し、2009 年の WBC(World Baseball Classic)では世界一に貢献した渡辺俊介投手や、2011~2017 年に埼玉西武ライオンズで中継ぎとして活躍した牧田和久(現東北楽天イーグルズ)、それに 2018 年~現在まで活躍し、先日の WBSC プレミア 12 でも世界一に貢献した高橋礼投手(ソフトバンクホークス)、今年から支配下登録され 1 軍での活躍を目指す與座海斗投手(埼玉西武ライオンズ)が存在する。

1.1.1.2 近年のアンダースロー投手と投手全体の比較

アンダースロー投手は、速いボールが投げにくいから三振がとりにくいとか制球が難しく失投が多くなりやすいと言われている。そこで、今回は過去 3 年間のアンダースロー投手と投手全体の成績を比較した。表 1~表 3 はそれぞれ 2017 年度~2019 年度のアンダースロー投手と投手全体の成績である。対象のアンダースロー投手は、2017 年度は牧田投手と山中投手の 2 名、2018 年度は高橋投手と山中投手の 2 名、2019 年度も高橋投手と山中投手の 2 名である。(防御率：9 イニング当たり何点失点したか、被打率：何割の確率で打者に安打を許したか、奪三振率：9 イニング当たり何個の三振を奪ったか、与四球率：9 イニング当たり何個の四球を与えたか、与死球率：9 イニング当たり何個の死球を与えたか)

表 1 アンダースロー投手と投手全体の成績の比較^[1](2017 年度)

2017 年度	防御率	被打率	奪三振率(%)	与四球率(%)	与死球率(%)
アンダースロー	3.85	0.258	4.17	1.43	0.46
投手全体	3.67	0.251	7.37	3.10	0.33

表 2 アンダースロー投手と投手全体の成績の比較^[1](2018 年度)

2018 年度	防御率	被打率	奪三振率(%)	与四球率(%)	与死球率(%)
アンダースロー	3.34	0.231	5.88	4.01	0.80
投手全体	4.00	0.256	7.27	3.32	0.36

表 3 アンダースロー投手と投手全体の成績の比較^[1](2019 年度)

2019 年度	防御率	被打率	奪三振率(%)	与四球率(%)	与死球率(%)
アンダースロー	3.77	0.226	4.60	3.00	0.71
投手全体	3.90	0.252	7.60	3.35	0.37

表 1~3 の被打率の列を見ると、被打率に関しては 2017 年度でほぼ同じ、2018、2019 年度で投手全体より 1 割ほど低くなっていることから、アンダースロー投手の方が安打を打たれていないと言える。奪三振率に関しては、やはりアンダースロー投手は投手全体と比較して奪三振率が 2 割弱ほど低くなっているため、三振を取りにくいと言える。逆に、与四死球率が投手全体より 2 倍ほど高くなっている。このことから、近年のアンダースロー投手は失投が多いのではないかと考えられる。

また、ゴロアウト率に関しては牧田投手は 2017 年度は 41.7%、高橋投手は 2018 年度は 54.2%、2019 年度は 51.5%となっており^[3]、アウトの約半分はゴロで稼いでいるということになる。これにより、アンダースロー投手は三振はとりにくいがその分ゴロを打たせて取る投球ができていたといえる。また、この 2 選手はスピードアップ賞^[4](無走者時に最も平均投球間隔が短かった投手)も獲得している(牧田選手が 2016 年に 8.1 秒、2017 年に 7.5 秒で 2 年連続受賞、高橋選手が 2019 年に 10.0 秒で受賞)。これにより、アンダースロー投手は非常にテンポよく投げられていると言える。フォームでタイミングを外すことがアンダースローの利点の一つとも言われている^[2]ので、投球テンポとタイミングずらしをうまく使えているといえる。これらの優位点と欠点をうまく利用しながら、近年のアンダースロー投手は投球を行っているといえる。

1.1.2 アンダースロー投手と左打者

アンダースロー投手の欠点の 1 つとして、左打者に打たれやすいことが挙げられている。では、投手全体では左右別の投手と打者ではどれほど打たれやすさが違うのかを表 4、表 5 に示す。(OPS(On-base Plus Slugging) : 長打率 + 出塁率, 長打率 : 一度の打数でどれだけ遠くの塁に進むことができるのか(塁打数/打数), 塁打数 : 単打 = 1, 二塁打 = 2, 三塁打 = 3, 本塁打 = 4 で計算, 出塁率 : 塁に出る確率)

表 4 2019 年度の NPB の右投手の成績^[5]

対戦投手	打数	三振率(%)	本塁打率(%)	被 OPS
左打者	18194	18.3	1.9	0.71
右打者	18162	20.6	3.2	0.734

表 5 2019 年度の NPB の左投手の成績^[5]

対戦投手	打数	三振率(%)	本塁打率(%)	被 OPS
左打者	6912	20.3	1.5	0.641
右打者	9488	21.1	3.5	0.748

表4の被OPSの列を見ると、右投手は左打者でも右打者でもさほど成績が変わらないといえる。一方、左投手では左打者の方が右打者より抑えている。このことから、左打者 vs 左打者のときのみ打者が打ちにくくなるということが言える。

しかし、近年のアンダースロー投手は全員右投げである。そこで、アンダースローであるから左打者に打たれやすいかどうかを分析した。表6は渡辺俊介選手の2005~2013年の打者別成績、表7は牧田和久選手の2011~2017年の打者別成績、表8は高橋礼選手の2018~2019年の打者別成績である。(渡辺俊介選手は2001年から登板しているがデータが2005年から分析が始まっているため2005年からのデータを分析した。)

表6 渡辺俊介選手の2005~2013年の打者別成績^[3]

渡辺俊介	被打率	打数	三振	四死球	被OPS
対右打者	0.248	2152	331	162	0.664
対左打者	0.284	2433	283	181	0.742

表7 牧田和久選手の2011~2017年の打者別成績^[3]

牧田和久	被打率	打数	三振	四死球	被OPS
対右打者	0.223	1545	282	121	0.551
対左打者	0.279	1904	232	148	0.683

表8 高橋礼選手の2018~2019年の打者別成績^[3]

高橋礼	被打率	打数	三振	四死球	被OPS
対右打者	0.217	254	40	37	0.644
対左打者	0.225	365	48	40	0.594

表6、表7の被打率、被OPSの列を見ると、渡辺選手と牧田選手は対左打者に対して対右打者より2割ほど多く安打を打たれていて、三振数も減少しており、被OPSも対右打者より2割ほど高くなっている。しかし、表8を見ると、高橋選手は対左右の打者での被打率の差はほとんどなく、被OPSは対左打者の方が8%ほど低くなっている。このことから、アンダースロー投手は確かに左打者に打たれやすかったといえる。しかし、高橋投手は左右の打者で被打率が変わらず、むしろ対左打者の方が被OPSが低くなっている。また、高橋選手はアンダースローであるにもかかわらず140km/h後半のストレートを投げられるので、高橋選手のような投球が、アンダースロー投手の欠点をなくす鍵になることが期待される。

1.1.3 アンダースロー投手と国際大会

野球の国際試合は、2008年まではオリンピックにて開催されていたが、それ以降はオリンピックの競技からは外れている。(2021年予定の東京五輪には野球は競技入りしている) また、オリンピックではシーズン中の8月に行われることや、参加国が8ヶ国と少ないこと、MLBの選手がほとんど出ないことからオリンピックでの野球は問題視されていた。その代わりに、2006年からは4年に1度、野球の国際大会としてWBC(World Baseball Classic)が開催されており、16ヶ国が参加している。また、2015年からは4年に1度、WBSC(World Baseball Softball Confederation)プレミア12が開催されており、12ヶ国が参加している。もちろん日本もWBCとWBSCプレミア12の両方に参加しており、毎回優秀な成績を収めている。また、その中でアンダースロー投手は、いわゆるアンダースロー枠として毎回日本代表に1名呼ばれている。その際のアンダースロー投手の成績はどうかを表9に示す。

表9 国際大会でのアンダースロー投手の成績^{[6][7]}

年度	選手	登板数	投球回 (回)	被打率 (%)	防御率	日本投手全体の 防御率	日本の 順位
2006WBC	渡辺俊介	3	13 2/3	0.167	1.98	2.49	1
2009WBC	渡辺俊介	2	2	0	0	1.71	1
2013WBC	牧田和久	3	3	0.285	0	3.84	4
2015 プレミア 12	牧田和久	2	1 1/3	0	0	2.83	3
2017WBC	牧田和久	5	6	0.208	3.00	3.43	3
2019 プレミア 12	高橋礼	3	12	0.150	1.50	2.88	1

表9の投球回、被打率、防御率を見ると、アンダースロー投手は投球回は多くはないが、先発や中継ぎとして登板し、被打率や防御率を見ると、非常に優秀な成績を収めている。また、日本投手全体の防御率と比較しても優秀な成績であるといえる。逆に言えば、他国はアンダースロー投手に苦戦したともいえる。2019プレミア12では、プエルトリコの監督が高橋選手のようなアンダースローは見たことがない、攻略するのは簡単ではないと語ってお

り^[8]、やはりアンダースローは他国にとって脅威であるといえる。以上のことから、アンダースロー投手は日本の優勝やベスト 4 に大きく貢献しているので、今後も国際大会ではアンダースローの選手が 1 人選ばれていくと思われる。

1.1.4 アンダースロー投手の先行研究

過去の先行研究では、投球動作の分析に関する研究^[9]はされているが、ほとんどがオーバースローを前提とした内容である。また、アンダースローに関する動作分析の研究^[10]もあるが、ほとんどが障害や疲労に関する内容あり、他の投球動作と比較したときのアンダースローの優位点に関する研究は未だされていない。もし新たな優位点が見つければ、アンダースローを目指す選手が増え、その結果アンダースロー投手を増えるのではないかと考えている。そこで私は、他の投球動作とアンダースローを比較して実験を行うことが必要だと考えた。

1.2 研究目的

本研究では、アンダースローと他の投球を比較したときのバッティング成績から、アンダースローの優位性を新たに発見することを目的とする。そのために、VR を用いて投球シミュレーションを行い、打者の反応の違いを調べることで、投球フォームの違いがバッター視点での投球の見え・予測可能性に与える影響を明らかにすることを目指す。

1.3 仮説

アンダースロー投手、渡辺俊介氏はその著書^[2]でアンダースローの利点に関する仮説を述べている。渡辺氏によると、アンダースローの利点は他の投球法にはない浮き上がる球を投げられること、また、投球中に間を作ることにより打者のタイミングを外しやすいことがあると述べている。一方で、リリースポイントの低さは重要とは限らないとも述べている。

私はこの仮説に加え、球の落差がアンダースローの優位点になるのではないかという仮説を立てた。アンダースローは下から投げることにより浮き上がるように見えるが、実際にはボールはマウンドから打席までの距離 18.44m の間に上がってから落ちている。ボールの落ちる方もうまく使い、落差の高低と配球の高低を自在に使い分けることで、打者は変化球、速度だけでなくボールの高低差も考えなくてはならなくなり、思考の要素が増え、その

結果打者がボールをとらえにくくなると考えた。

1.4 研究方法

投球を行った際の打者の反応の違いを調べるための手段として、2つの手段が考えられる。1つ目は、実空間で実際にアンダースローの選手に投げてもらい、打者の反応の違いを調べることであり、2つ目は、VR空間で投手を再現して投球シミュレーションを行うことで打者の反応の違いを調べることである。本研究では、VIVE Pro^[11]を用いたVR(仮想現実)空間でのバッティング実験を行う。VR空間はUnity^[12]を用いて環境を構築する。

1.4.1 VR を用いる理由

アンダースローの実験を行うにあたり、一番の問題点として、アンダースロー投手の数が少なく、十分な実験データが取れないことが挙げられる。この問題点を解決するためには、ピッチングマシンを使用するという手段もある。しかし、ピッチングマシンだと投球時のボールの座標の把握が難しいことや、実際の投手と軌道が異なるといった問題点が挙げられる。更に、アンダースロー用のピッチングマシンは存在する^{[13][14]}のだが、地上からの高さが40cmほどものしかなく、渡辺俊介氏のように地面すれすれから投げられるピッチングマシンは存在しないので、ピッチングマシンだと実験するのには不十分である。

VRを使った研究の利点としては、シミュレーションと組み合わせることで、実際の投手なしでも様々な投球パターンを試せること、軌道の忠実な再現が可能なこと、それにボールやバットの座標の把握が可能であるということが挙げられる。この利点は、投手頻度の少ないアンダースローの利点を調べるのに適している。一方で、VR実験の課題としては、VR空間を用いた際は、バットにボールが当たった際のボールの重みがないことや、装置の重量やバットの重量が現実と違うことで実際の打席との相違点は必ず発生してしまうこと、それにフレームレートがVRの場合、最大でも120fpsであるので、実空間とは違った見え方になってしまうという問題点がある。特に野球の投球シミュレーションの場合、130km/hで投げたとしても、120fpsであれば1フレームごとに約30cm進んでしまうことになる。しかし、最近のプロ野球でも、特にDeNAという野球チームがVRを用いた練習法を取り入れている^[15]ので、実用性も十分にあると考えている。

1.5 論文の流れ

本論文では、まず第 1 章ではアンダースローに関する近年の成績やと既存の優位点・欠点について述べた。第 2 章では、2D 上で投球を見せた時の打者の反応の違いの実験で明らかになったことや 2D 上の投球の課題点を述べる。第 3 章では VR 空間でのバットを振った際の打者の反応の実験で明らかになったことや 2D の投球との比較と課題点を述べる。第 4 章では、VR 空間と実空間の両方でバットを振った際の打者の実験で明らかになったことや課題点を述べる。最後に本論文の結論を述べる。

第2章 予備実験1:画面上に提示した簡易バーチャルリア

リティ環境での投球の打ちやすさの検討

2.1 実験目的

アンダースローの新規優位点を見つけるためには、アンダースローと他の投球法で何が違うのかを明らかにする必要がある。まずは、アンダースローとオーバースローで投球の打ちやすさに違いが生じるかを明らかにし、その上で仮説を立てる必要がある。そこで本実験では、簡易的にアンダースローとオーバースローの相違点を見つけるための手段として、簡易バーチャルリアリティ環境で実験を行う。本実験では、アンダースローの優位性を新たに発見するための予備実験の1つ目として、アンダースローとオーバースローで球軌道の予測精度にずれが生じるかどうかを確認することを目的とする。今回の実験では、平面ディスプレイ(以下2Dと略す)上でのボールの投球を提示し、被験者が到達地点、ボールの速さ、打てそうかを判断する。

2.2 実験方法

本章の実験では、オーバースローとアンダースローの二種類を比較する。投球の空気抵抗なしと仮定し、投球の軌道は放物線に従うとした。また、平面ディスプレイ上に提示される仮想空間上のマウンドからホームベースまでの距離は、図1のように日本プロ野球仕様の18.44mとした。球を投げるモーションを含めた提示刺激は、すべてUnity(version.2019.1.0f2)で作成した。

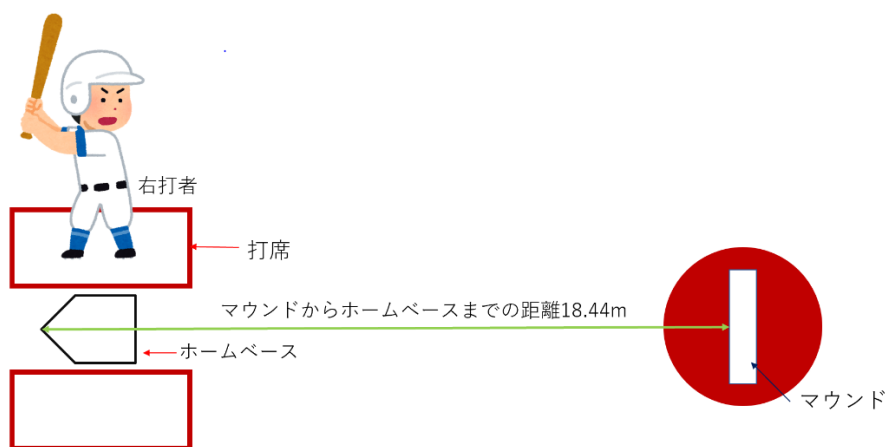


図1 マウンドからホームベースまでの距離

2.2.1 実験参加者

実験参加者 2 人(いずれも 20 代男性, 右打ち, 経験者 1 名(小学で 2 年間経験が 1 名), 初心者 1 名)を対象に実験を行った.

2.2.2 実験刺激と実験の状況

以下の手順で実験環境を構築した. 投球動作は, オーバースローとアンダースローの 2 種類で比較する.

- ① ストライクゾーンを 3×3 分割し, {低め, 真ん中, 高め} × {内角, 真ん中, 外角} の 9 マスを用いる. 投球位置をランダムに指定する.
- ② 実験者が Unity 上で構築したストレートを投じる. 球速は, オーバースロー, アンダースローのどちらも 110km/h と 130km/h を用いる.
- ③ ボールの初期位置は, ピッチャーマウンドの中心を 0 として, 以下に設定した.
オーバースロー: 高さ 1.50m, 投手から野手方向 1.1m, 左打者から右打者方向 0.45m
- ④ アンダースロー: 高さ 0.45m, 投手から野手方向 1.1m, 左打者から右打者方向 0.45m
また, 実験する際には図 2 のような動画をスクリーンに映し, ストライクかどうかを視覚的に分かりやすくするために, 等身大のストライクゾーンを実際のストライクゾーンの位置になるように被験者から 57cm 離れた場所に設置し, 被験者は, 2D 上と実空間上で打者からボールまでの距離を同じにするため, 図 3 のようにスクリーンから 1m 離れた地点に立ってもらった.

2.2.3 実験の手続き

実験参加者がオーバースローとアンダースローのそれぞれ 36 球の計 72 球の球軌道の一つを見て判断することを 1 試行とした. 72 の各試行のそれぞれでは, 実験参加者はホームベースにボールが来る時に 3×3 マスのどこに球が来るのかを投球終了時に予測する. 具体的には, ボールが 1 球投球されるごとに, 図 4 (右) の調査用紙に予測地点の位置, 球の速さ, 打てるかどうかを記入した.

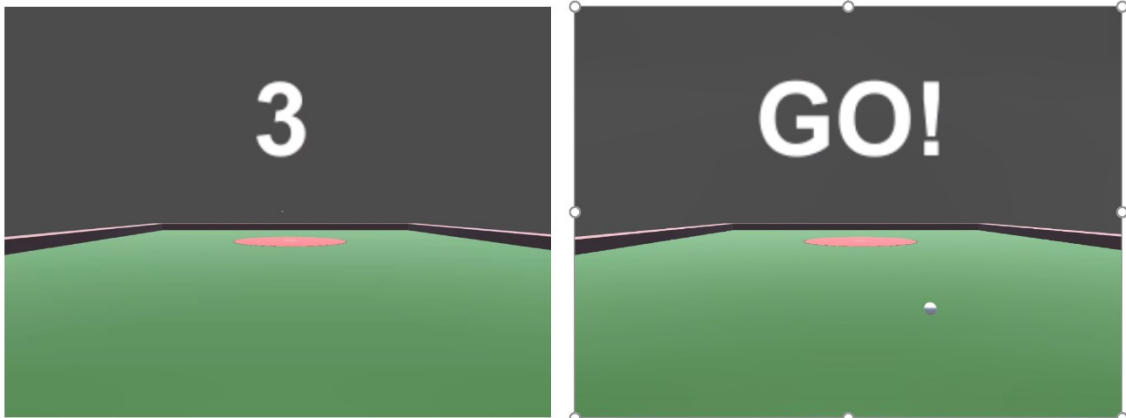


図2 2D 実験時の投球動画

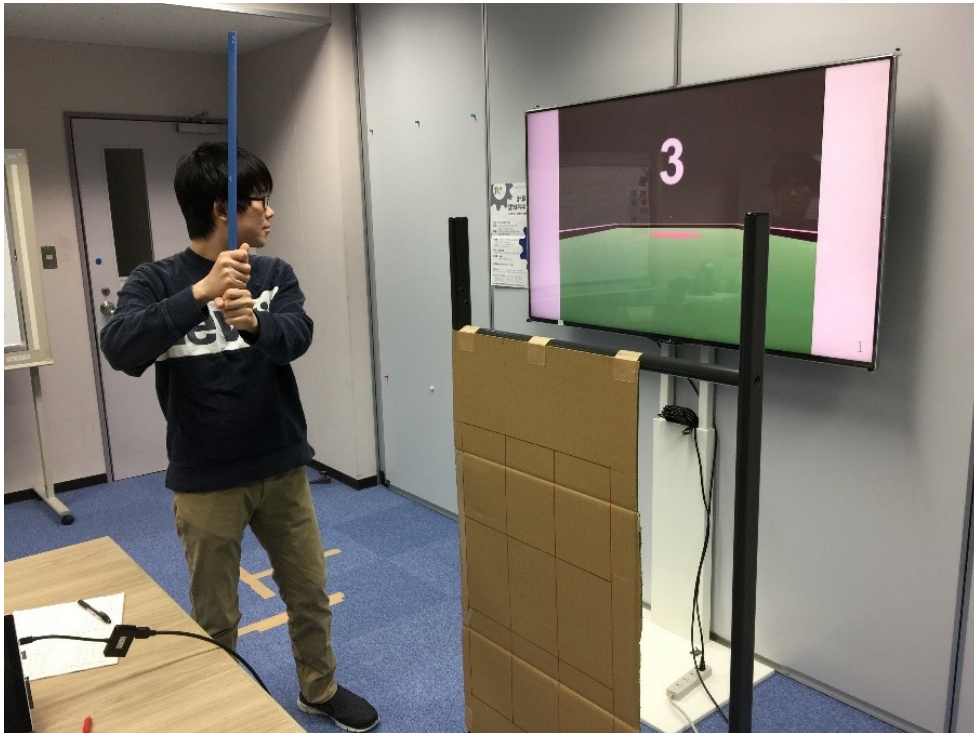


図3 2D 実験時の様子

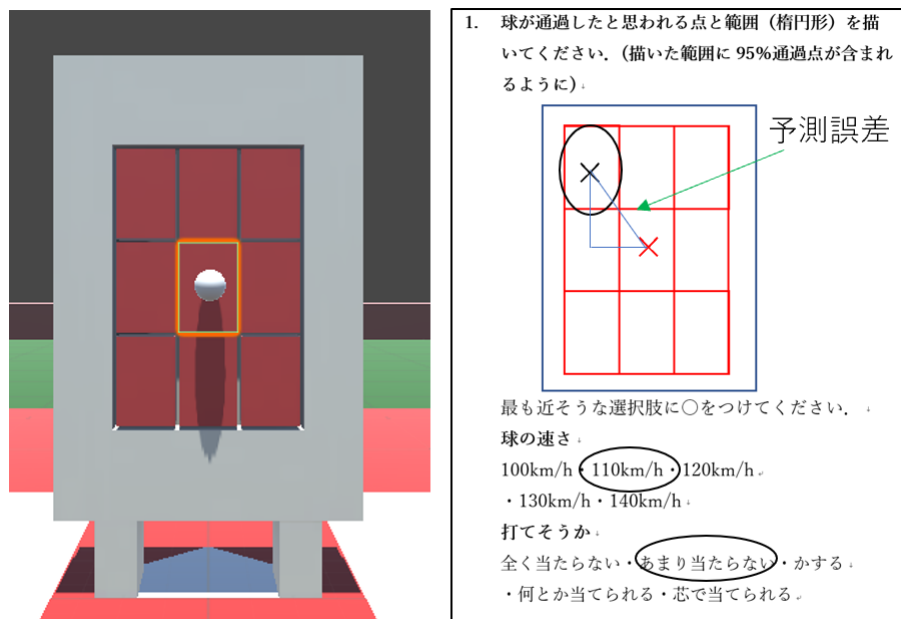


図4 ストライクゾーンと2D実験時の調査用紙

2.3 実験結果

今回の実験では、アンダースローとオーバースローで予測精度にずれが生じるかを確認するために、バットとボールの接触率、ボールの通過地点までの距離、球速予測、打球自信度を調べた。以下2.3.1章~2.3.4章に結果を記載する。

2.3.1 ボールの予測誤差

2D実験時のバットとボールの接触率を表10に示す。ボールの半径3.6cmとバットの一番太い部分の半径3.3cmとしたとき、ボールとバットが当たっていれば最大でもボールの中心とバットが一番太い部分の中心の距離が6.9cmとなるので、予測誤差が6.9cm以内であれば、ボールとバットが接触したことになる。この時の接触した回数を各条件ごとの全体の投球数で割ったものを接触率として計算した。2D上に映したボールでは、平均の列を見ると到達位置との誤差が24cmと6.9cmより大きくなってしまい、接触率の列を見ても4つの実験条件のどれも接触率が0.06以下であり、バットにボールがほとんど当たらないという結果となった。

表 10 2D 実験時の予測誤差と接触率

実験条件	平均[cm]	標準偏差	接触率(<6.9cm)(%)
110km/m(Over)	24.48	12.40	0.06
130km/h(Over)	24.05	13.38	0.06
110km/h(Under)	24.51	12.53	0.06
130km/h(Under)	24.74	11.00	0.00

2.3.2 ボールの通過地点予測

次に、ボールの通過地点の予測を図 5 に示す。縦軸はバットの芯からボールまでの相対位置 y であり、横軸はバットの芯からボールまでの相対位置 x である。バットの芯の中心を $(0,0)$ とした。そして、赤丸は半径 3.6cm のボールの到達位置であり、到達位置からの被験者の到達位置の予測誤差を相対位置とした。110km/h のオーバースローとアンダースローの図を見ると、110km/h のオーバースローと 110km/h のアンダースローでは大きな差は見られなかった。一方、130km/h のオーバースローとアンダースローの図を見ると、130km/h のオーバースローとアンダースローに関しては、オーバースローの方が右寄り、アンダースローの方が左下寄りになっていた。つまり、130km/h に関してはアンダースローの方がオーバースローより内角に、低めに見えていた。

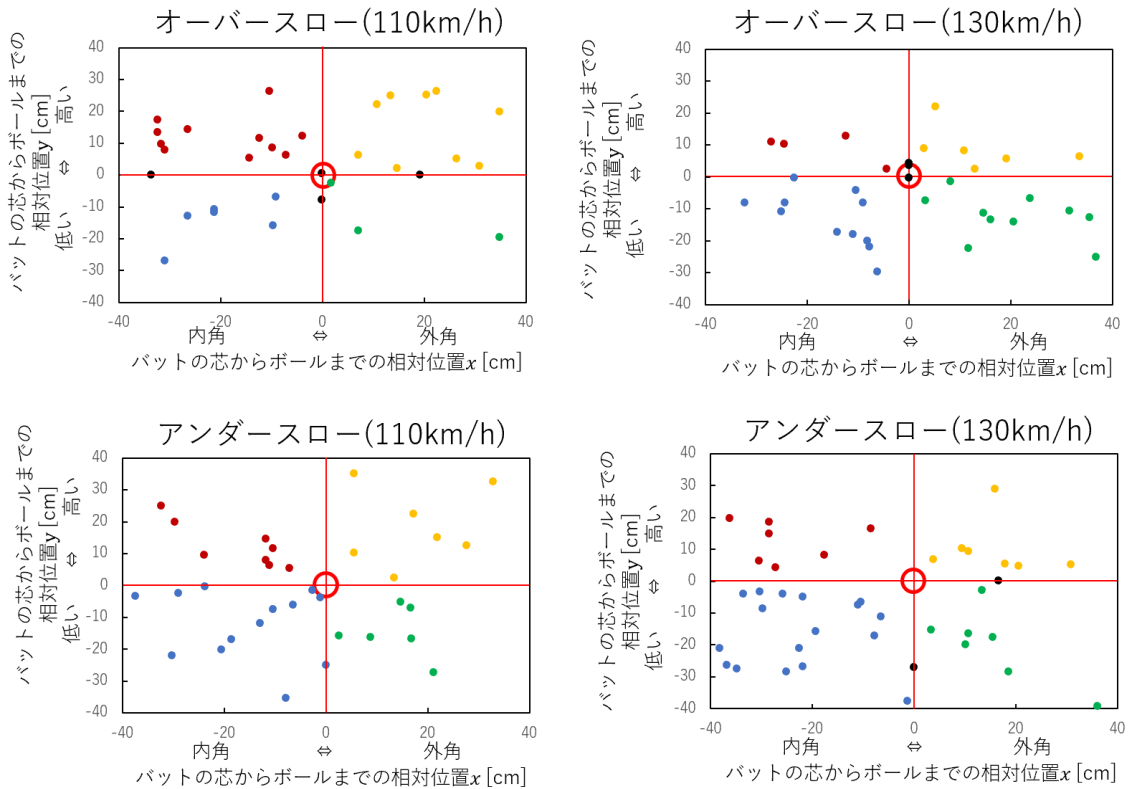


図 5 通過地点予測

2.3.3 球速予測

次に、ボールの球速予測を図 6 に示す。縦軸は予測した球速ごとの頻度であり、横軸は 100km/h~140km/h までの予測した球速である。130km/h のオーバースローとアンダースローの図を見ると、130km/h のオーバースローとアンダースローでは球速の予測に差は見られなかった。一方、110km/h のオーバースローとアンダースローの図を見ると、110km/h のオーバースローとアンダースローに関しては、オーバースローの方が球速を遅く予測していた。このことから、110km/h ではアンダースローの方がオーバースローより速く見えていた。

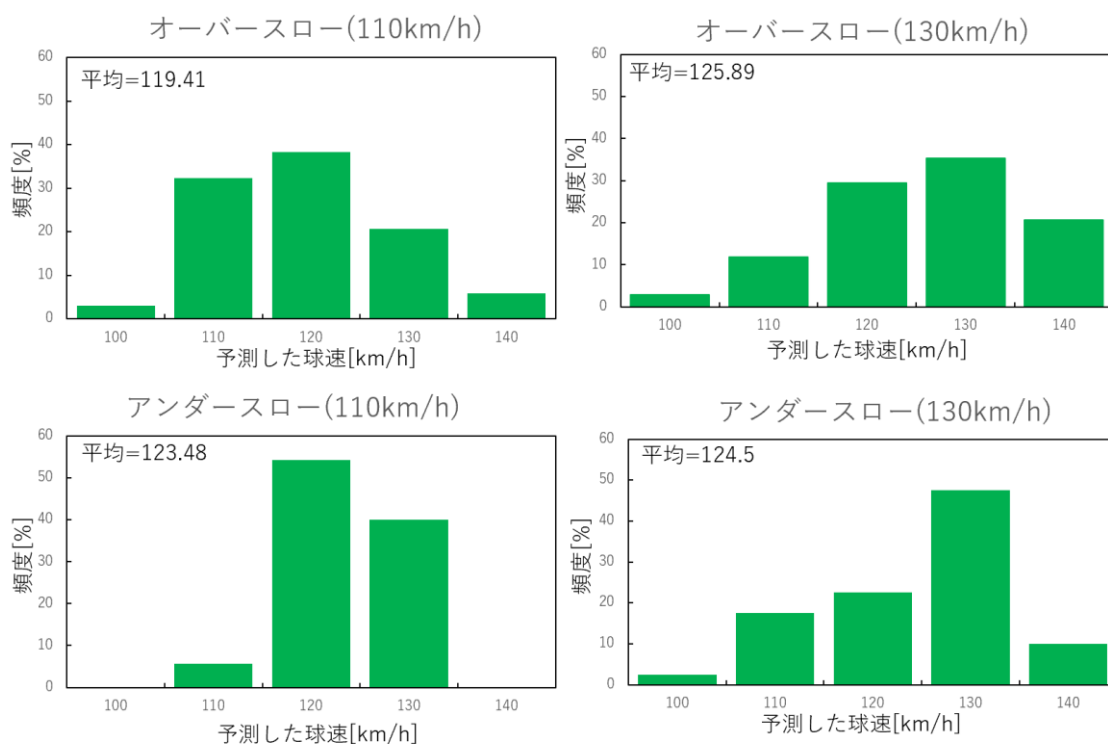


図 6 球速予測

2.3.4 打球自信度

最後に、図 7 に打球自信度を示す。縦軸はバットとボールとの予測距離誤差であり、横軸は全く当たらない~芯で当てられるの 5 段階評価である。相関係数を R とした。110km/h のオーバースローと 130km/h のオーバースローの図を見ると、平均が 3.20 程度であり、5

段階評価で3か4に記載した回数が多かった。一方, 110km/hのアンダースローと130km/hのアンダーの図を見ると, 110km/hのオーバースローと130km/hのオーバースローより予測距離誤差の平均が0.2程度低く, 5段階評価でも2~4に多いため, 110km/hと130km/hのどちらに関してもオーバースローよりアンダースローの方が打てる自信がなかった。

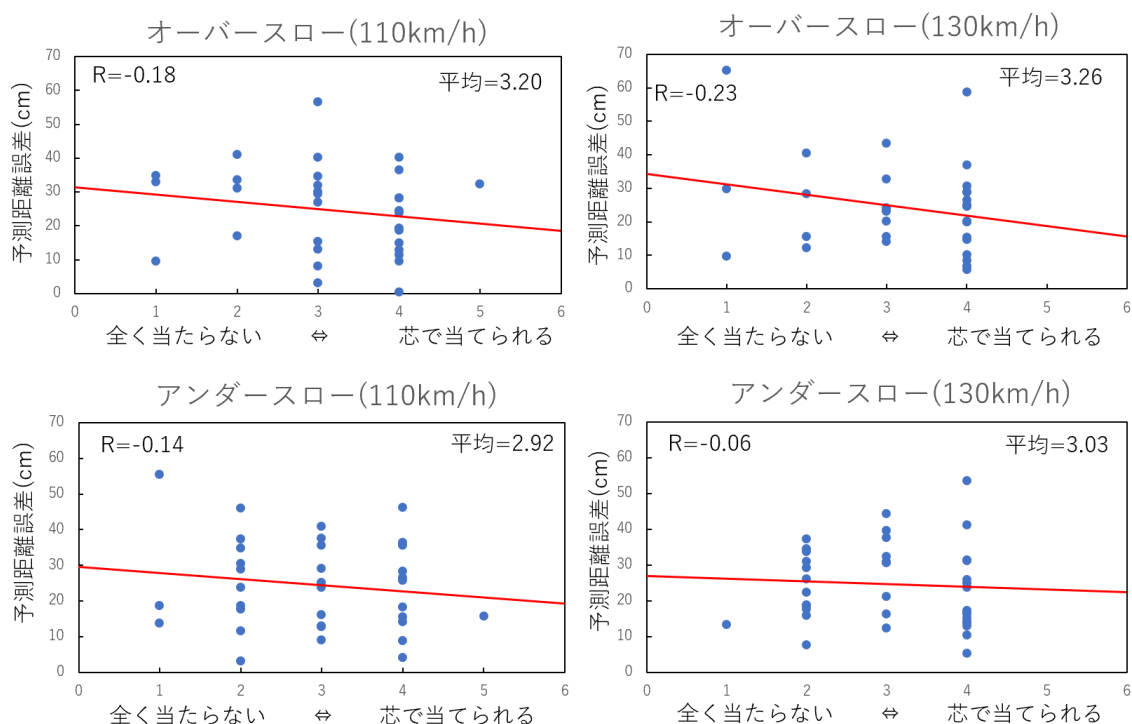


図7 打球自信度

2.3.5 考察・課題

本章では, 2D 上でのボールの投球に対して被験者に到達地点, ボールの速さ, 打てそうかを判断してもらい, アンダースローとオーバースローで球軌道の予測精度にずれが生じるかどうかを確認した。その結果, 2.3.1 章ではボールの到達位置が大きく離れてしまった。これは, 画面上にストライクゾーンがなかったため, ボールがどのコースに来たか分からなかった可能性が考えられる。また, 2.3.2 章~2.3.4 章では, アンダースローの方が, ボールが速く見えて打てるかどうかの自信がなかったことから, アンダースローの方がオーバースローより球を打ちにくいのではないかと考えられる。

しかし, ディスプレイ上であるとボールの予測位置と実際にバットを振る位置は異なる可能性があること, 3D と 2D では見え方が違うこと, それに頭を動かせることの効果加わるという違いがある。本章では, オーバースローとアンダースローでは違いが生じることが確かめられたので, 第3章では, VR 空間でボールを見てもらい, 実空間ではコントローラーを振ってボールの打ちやすさを判断する。

第3章 予備実験2：VR空間上に提示した投球の打ちやすさの検討(実空間：VIVEコントローラー)

3.1 実験目的

本章では、アンダースローの優位性を新たに発見するための予備実験の2つ目として、VRを用いて投球シミュレーションを行い、打者の反応の違いを調べることで、投球フォームの違いがバッター視点での投球の見え・予測可能性に与える影響を明らかにすることを目的とする。今回の実験では、打者である実験参加者がVIVE ProのHMDを装着し、視界はVR空間上、実空間ではVIVEのコントローラーをバットに見立てて振ってもらった。

3.2 実験方法

本章の実験では、オーバースローとアンダースローの二種類を比較する。空気抵抗は、unityに物理演算として実装されているDragを利用し、今回はDragの値を抵抗力2に設定し、投球の軌道は放物線に従うとした。また、マウンドからホームベースまでの距離は日本プロ野球仕様の18.44mとした。球を投げるモーションやVR空間の環境を含めた提示刺激は、すべてUnity(version.2019.1.0f2)で作成した。

3.2.1 実験参加者

今回は、学内の学生6名(いずれも20代男性、右利き、野球経験者4名、(小学で2年間経験が1名、中学で3年間経験が3名)、初心者2名、)で実験を行った。

3.2.2 実験刺激と実験の状況

- ① 図8に示すように、ストライクゾーンを3×3分割し、{低め, 真ん中, 高め} × {内角, 真ん中, 外角}の9マスの他に、ストライクゾーンの外部に1マス进行、ボール球として右打者に対しての{更に高め} × {真ん中}, {更に高め} × {更に内角}, {真ん中} × {更に内角}, {真ん中} × {内更に外角}, {更に低め} × {更に外角}, {更に低め} × {真ん中}の6マスの投球位置を用いる。
- ② 実験者がUnity上で構築したストレートを投じる。球速は、オーバースロー、アンダースローのどちらも110km/hと130km/hを用いる。

- ③ ボールの初期位置は、ピッチャーマウンドの中心を0として、以下に設定した。
 オーバースロー：高さ 1.50m, 投手から野手方向 1.1m, 左打者から右打者方向 0.45m
 アンダースロー：高さ 0.45m, 投手から野手方向 1.1m, 左打者から右打者方向 0.45m
- ④ また、実験するには図9のような動画をVR空間上に映し、被験者は、VR空間上でバットを振ってもらい、実空間上では図8のようにVIVEコントローラーを振ってもらった。

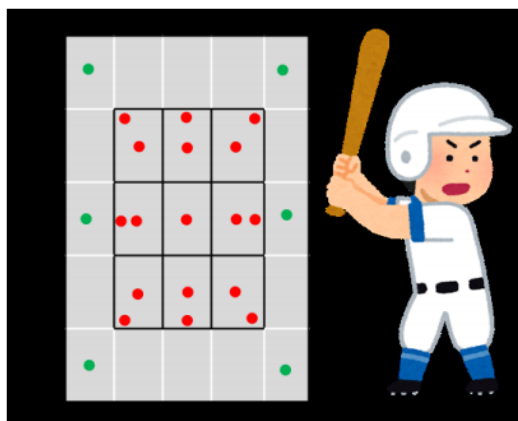


図8 バッティングゾーン

- ・：ストライク(真ん中は×2)
- ・：ボール

3.2.3 実験の手続き

実験参加者がオーバースローとアンダースローのそれぞれ48球の計96球(投球動作と球速の計4条件, ボール球6球含む24球ずつ)の球軌道の一つを見てバットを振ることを1試行とした。今回は被験者1名に対して96球(投球動作と球速の計4条件, ボール球6球含む24球ずつ)の球軌道を見せた。また、実験前に練習として12球(投球動作と球速の計4条件で3球ずつ)の球軌道を見せてバットを振ってもらった。



図9 VR実験時の投球動画



図 10 VR の実験時の様子

3.3 実験結果

本章の実験では、打者の打ちやすさを調べるために、バットとボールの接触率、バットの芯からの誤差、接触したときのボールの位置を調べた。以下 3.3.1 章~3.3.3 章に結果を記載する。

3.3.1 ボールの接触率

図 11 に各条件の接触率を示す。この条件での接触率は、VR 空間上でボールがバットに当たるとバットとボールがその場で止まるように環境を構築したので、バットとボールが止まった時を接触したとみなした時の、接触した回数を各条件ごとの全体の投球数で割ったものを接触率として計算した。110km/h のオーバースローと 110km/h のアンダースローを見ると、110km/h のオーバースローと 110km/h のアンダースローでは 35%~40%程度バットにボールが接触していた。一方、130km/h のオーバースローと 130km/h のアンダースローを見ると、130km/h のオーバースローと 130km/h のアンダースローではともに 10%程度しかバットにボールが接触していなかった。このことから、130km/h のボールは、オーバースロー、アンダースローに関わらず 110km/h のボールより接触しにくい、つまり打ちにくいことが分かった。

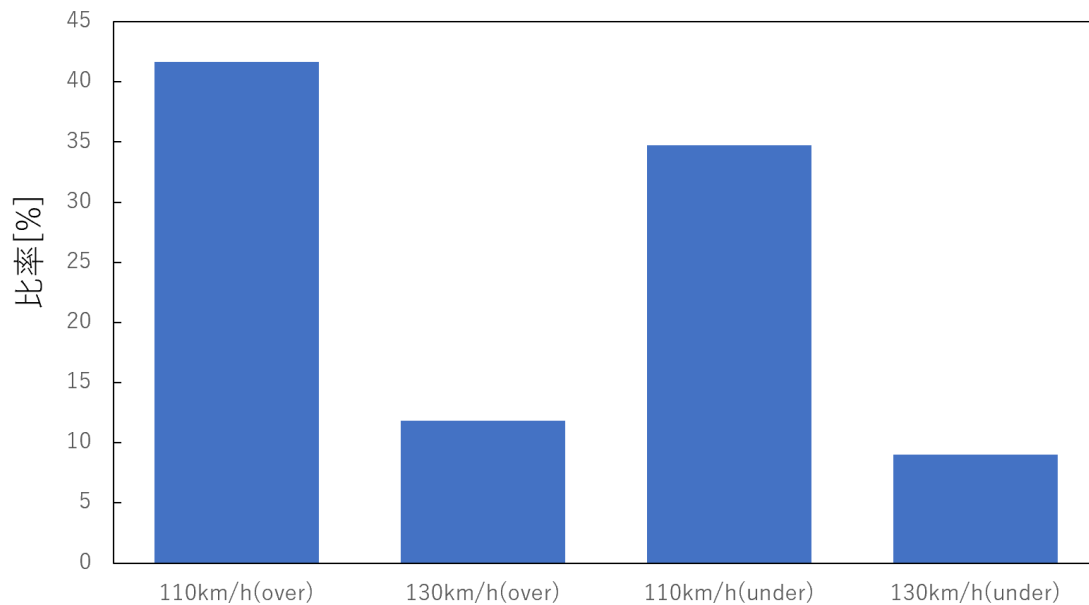


図 11 各条件の接触率

3.3.2 バットの芯からの誤差

次に、まずバットの芯からの誤差を図 12 のように示した。バットの芯からの誤差が 0cm に近ければ近いほど、バットの芯で当たったということになる。このときのバットの芯からの誤差を表 11 , 図 13 に示す。図 11 の 110km/h のオーバースローと 130km/h のオーバースローに着目すると、110km/h のオーバースローの方がバットの内側でボールが接触していた。しかし、~10cm の列を見ると、どの条件であっても接触したボールのほとんどがバットの芯から外れていた。

- バットの芯の中心(バットの持ち手側から73cmの位置に設定)
- ボールの中心の位置

バットの芯からの誤差：
 (バットの芯の中心とボールの芯の中心の距離d)-(ボールの半径3.6mm+バットの最も太い部分の半径3.3cm)

※バットの長さを86cmとした

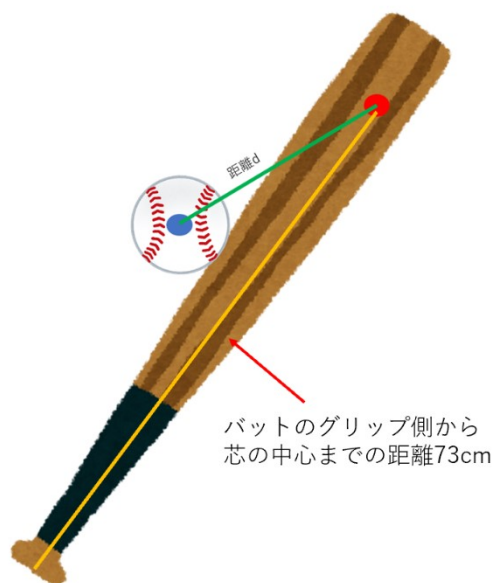


図 12 バットの芯からの誤差の算出法

表 11 バットの芯からの誤差

	~10(cm)	10~30(cm)	30~50(cm)	50~70(cm)	70~(cm)
110km/h(over)	0	5	19	13	23
130km/h(over)	0	4	8	5	0
110km/h(under)	1	4	8	20	17
130km/h(under)	0	2	6	4	1

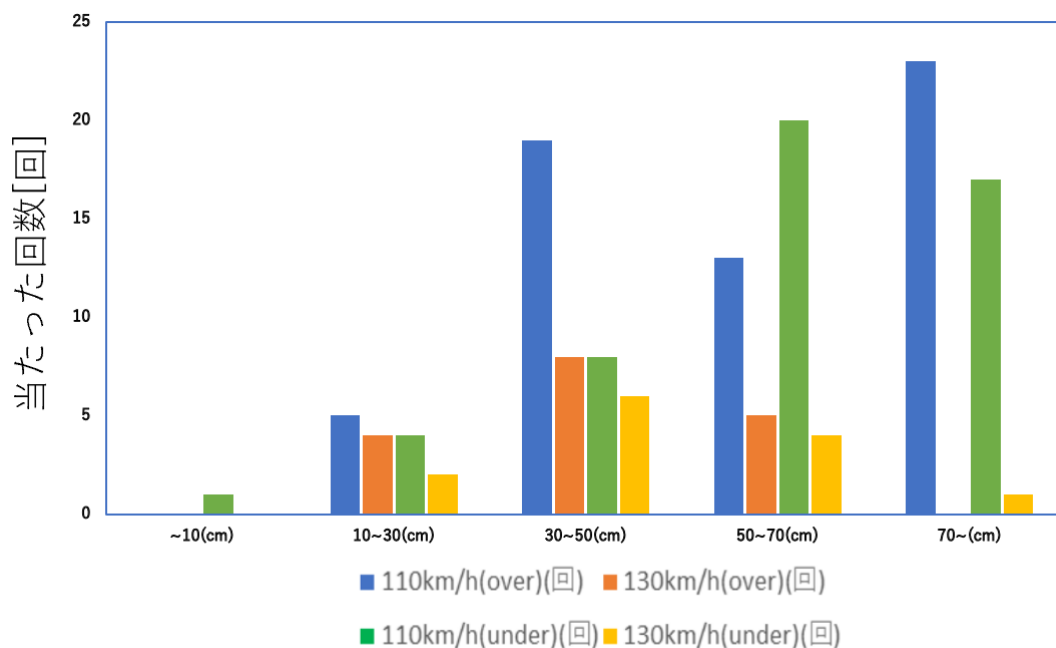


図 13 バットの芯からの誤差

3.3.3 接触したときのボールの位置

次に、まず図14のようにストライクゾーンの中心の座標を(0,0)とみなし、その位置を基準として高めと低め、内角と外角に4分割した。このときのボールの位置を表3、図15に示す。110km/hのオーバースローと110km/hのアンダースローに着目すると、110km/hのアンダースローの方が内角より外角に当てやすかった。

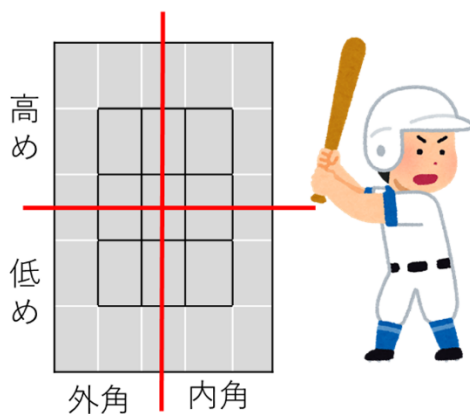


図14 ストライクゾーンの内訳

表12 ボールが接触したときの回数

	110km/h(over)	130km/h(over)	110km/h(under)	130km/h(over)
内角高め(回)	6	4	6	1
外角高め(回)	19	8	16	1
内角低め(回)	13	1	7	6
外角低め(回)	22	4	21	5

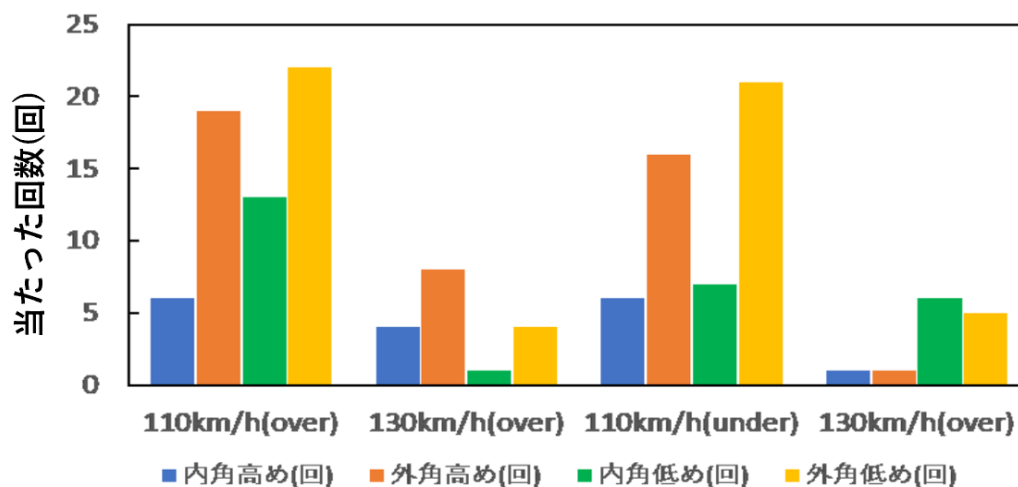


図15 ボールが接触したときの回数

3.3.4 考察・課題

本章では、VR空間上でのボールの投球を被験者に判断してもらい、アンダースローとオーバースローで打者の打ちやすさを調べた。その結果、3.3.1章では図11の接触率を見ると、110km/hの方が130km/hよりバットにボールを当てやすかった。これにより、速い方が打ちにくいのは2DよりもVRの方が実際の状況に近いVRで行うほうが2Dよりも適しているといえる。また、3.3.2章では表11、図13のバットの芯からの誤差よりバットの芯にボールがほとんど当たってなかったことに関しては、実際のバットを持っていないので距離や重心の感覚が分かりにくかった可能性が考えられる。最後に、3.3.3章では表12と図15より110km/hのオーバースローと110km/hのアンダースローでは110km/hのアンダースローの方が内角より外角に当てやすかったことに関しては、実際の状況だと、外角より内角の方が打ちやすく当てやすいはずであるので、VIVEのコントローラーを使用した関係で、VR空間のバットを前に出さずに振っていた可能性が考えられる。

今回の結果を通して、接触率に関しては2DよりもVR環境の方が実際のバットを振る環境に近いことが確認できた。しかし、表2、図11にあるように、ほとんどがバットの芯から外れているなどといった、実際にバットを振る環境とは異なった結果が得られた。これは、今回はVIVEのコントローラーをバットとみなして振ったので、実際のバットとは異なり長さや重心が分かりにくかった可能性が考えられる。本章では、VRを用いることの有効性とオーバースローとアンダースローで何が数値として違いが生じてくるのかを確かめられた。以上の結果を踏まえて、第4章ではバットにVIVE Trackerを取り付けて実際のバットを持って振ってもらう実験を行う。

第4章 本実験：VR空間上に提示した投球の打ちやすさの検討(実空間：木製バット)

4.1 実験目的

第2章、第3章の予備実験では、アンダースローとオーバースローでは打ちやすさに違いが生じること、またVR空間で実験を行うことの必要性を明らかにした。第3章の予備実験では、被験者はVRのHMDを装着したが、VRコントローラーをバットに見立てて振った。本章の本実験では被験者は実際に野球のバットを振る。具体的に、本実験では、本来の目的であるアンダースローと他の投球を比較したときのバッティング成績から、アンダースローの優位性を新たに発見するために、今回の実験では、VR空間上にボールの投球を提示し、被験者にはVR空間上のバットと連動して実空間上にもバットを振ってもらうことで、打者の打ちやすさを判断した。

4.2 実験方法

本章の実験では、オーバースローとアンダースローの二種類を比較する。空気抵抗は、unityに物理演算として実装されているDragを利用し、今回はDragの値を抵抗力2に設定し、ボールの軌道は放物線に従うとした。また、マウンドから打席までの距離は日本プロ野球仕様の18.44mとした。球を投げるモーションやVR空間の環境は、Unity(version.2019.4.1f1)で作成した。

4.2.1 実験参加者

実験参加者5名(いずれも20代男性、右利き、経験者3名(小中での経験6年が1名、小学で3年間経験が1名、中学で3年間経験が1名)、初心者2名)を対象に実験を行った。

4.2.2 実験刺激と実験の状況

4.2.2.1 投手の導入

本章の実験では、ボールの投球方法を変更し、3秒からのカウントダウンでボールが放たれるのではなく、オーバースローとアンダースローの投手を導入し、投手の動きに合わせてボールが放たれるようにした。導入方法は、VR空間上の動作を録画することで導入した。実空間上に両手にコントローラーをそれぞれ1本ずつの計2本、両足にVIVEトラッカーをそれぞれ1個ずつの計2個取り付け、VR空間はVirtualCast^[16]を用いた。VR空間内のキャラクターと動きと実空間上の動きを同期させ、図16のように投球動作を録画した。録画後は、Unity内でクロマキー加工し、背景を透過させることで投手を導入した。

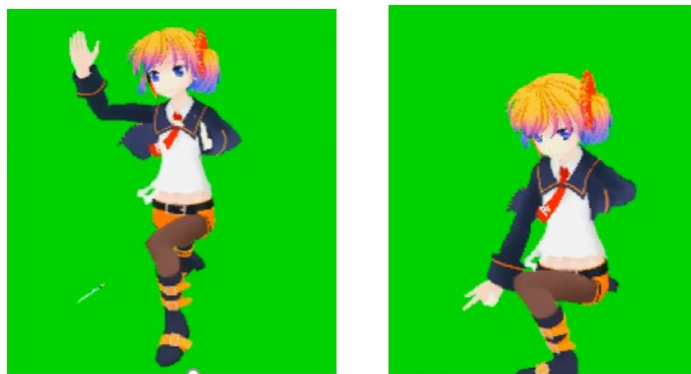


図16 VirtualCast内での投手の作成

4.2.2.2 木製バットへのトラッカーの取り付け

実空間で使用するバットは木製バット(FULLSWING KW-359B)を使用した。バットにトラッカーをつけるために、電動ドリルを使用し、図17のように木製バットに穴をあけ、ネジで固定することで木製バットにトラッカーを取り付けることにした。ネジは、鬼目ネジ(ムラコシ オニメD M6×16)と変換ネジ(REC-MOUNT 1/4オス-M6オス 変換アダプター)を使用した。バットにトラッカーを取り付けた後は、トラッカーが回転するのを防ぐために、図18のようにガムテープでトラッカーの周りを覆った。

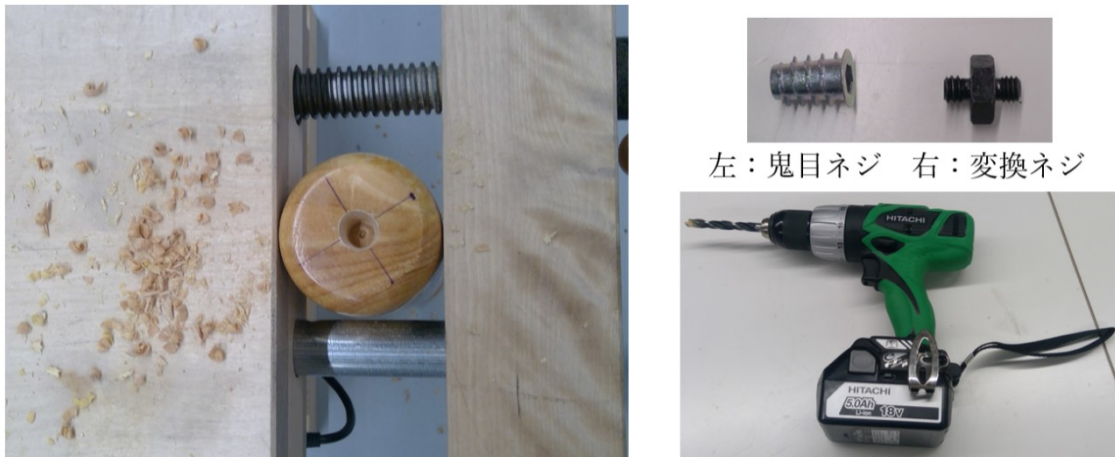


図 17 木製バットへの穴あけ作業



図 18 トラッカーを取り付けた木製バット

4.2.3 実験手順

以下の手順で実験環境を構築した。

- ① 実験者が Unity 上で構築したストレートを投じる。球速は、被験者が打ちやすいようにオーバースロー、アンダースローのどちらも 70km/h と 90km/h を用いる。
- ② 初期位置は、ピッチャーマウンドの中心を 0 として、以下に設定した。
 オーバースロー：高さ 1.50m, 投手から野手方向 1.1m, 左打者から右打者方向 0.45m
 アンダースロー：高さ 0.45m, 投手から野手方向 1.1m, 左打者から右打者方向 0.45m
- ③ 第 3 章の図 6 と同様に、ストライクゾーンを 3×3 分割し、{低め, 真ん中, 高め} × {内角, 真ん中, 外角} の 9 マスの他に、ストライクゾーンの外部に 1 マスを設け、ボール球として右打者に対しての {更に高め} × {真ん中}, {更に高め} × {更に内角}, {真ん中} × {更に内角}, {真ん中} × {内更に外角}, {更に低め} × {更に外角}, {更に低め} × {真ん中} の 6 マスの投球位置を用いる。
- ④ また、実験するには図 19 のような映像を VR 空間上に映し、VR 空間上のバットと同じ大きさのバットを実空間上に用意して図 20 のように振ってもらう。

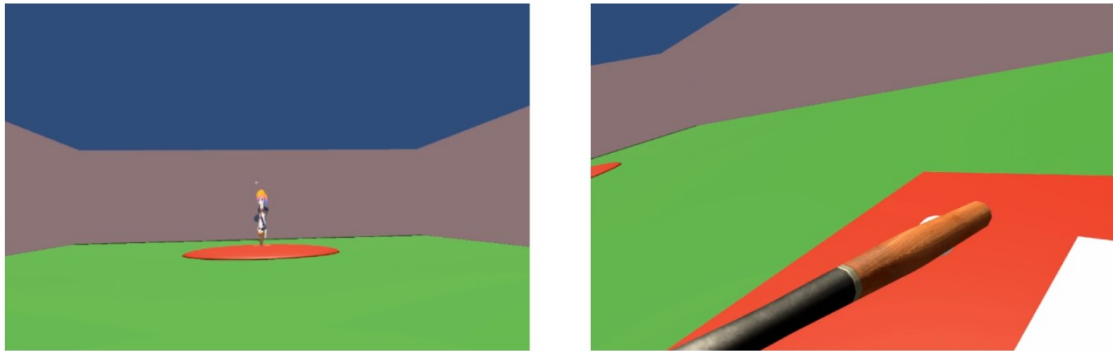


図19 VR実験時の投球画面(投手付き)



図20 木製バットを持った時の実験時の様子

4.2.4 実験の手続き

実験参加者がオーバースローとアンダースローのそれぞれ48球の計96球(投球動作と球速の計4条件, ボール球6球含む24球ずつ)の球軌道の一つを見てバットを振ることを1試行とした。

また、実験前に練習として、オーバースロー、アンダースローの70km/hと90km/hの4条件それぞれに対して実験参加者がバットボールを50%程度当てられて納得するまで何球も練習を行った。

4.3 実験結果

本章の実験では、打者の打ちやすさを調べるために、バットとボールの接触率、バットの芯からの誤差、接触したときのボールの位置を調べた。以下 4.3.1 章~343.3.1 章に結果を記載する。

4.3.1 ボールの接触率

各条件のボールとバットの接触率を図 21 に示す。この条件での接触率は、第 3 章と同様に、VR 空間上でボールがバットに当たるとバットとボールがその場で止まるように環境を構築したので、バットとボールが止まった時を接触したとみなした時の、接触した回数を各条件の全体の投球数で割ったものを接触率として計算した。70km/h のオーバースローに着目すると、70km/h のオーバースローでは 40%以上接触しており、4 条件の中で一番接触率が高かった。70km/h のアンダースローと 90km/h のアンダースローに着目すると、70km/h のアンダースローでは、35%程度接触しており、90km/h のアンダースローと同程度の接触率であった。一方、90km/h のオーバースローに着目すると、90km/h のオーバースローでは接触率が一番低く、70km/h のオーバースローより 15%以上低い 25%程度しか当たっていなかった。以上の結果から、オーバースローの場合は球が速いほど打者が打ちにくいことが示唆される。

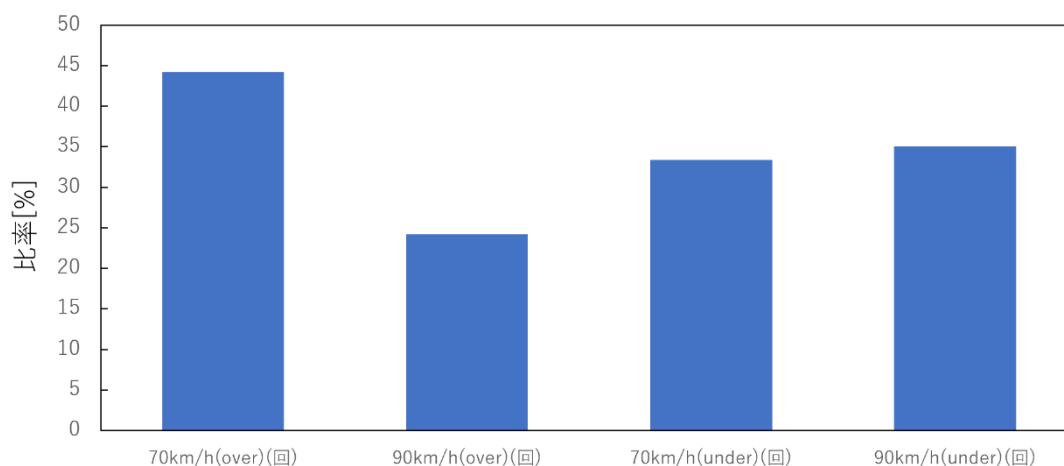


図 21 各条件の接触率

4.3.2 バットの芯からの誤差

バットの芯からの誤差を表 13 と図 22 に示す。バットの芯からの誤差が 0cm に近ければ近いほど、バットの芯で当たったということになる。~3.7cm の列を見ると、バットの芯である 3.7cm 以内には、90km/h のアンダースローが一番多く当たっており、5 回当たっていた。一方で、70km/h と 90km/h のオーバースローでは 1 回のみ、70km/h のアンダースローでは 2 回のみしか当たっていなかった。また、少し芯から外れた位置になる 3.7cm~15cm の列でも、90km/h のオーバースローが一番多く 8 回当たっていた。また、70km/h と 90km/h のオーバースローでは 5 回と、90km/h のアンダースローには及ばないが~3.7cm よりかは増えていた。70km/h のアンダースローでは 3 回と~3.7cm と比べても 1 回しか増えていなかった。また、図 19 のグラフの全体を見ると、70km/h と 90km/h オーバースローでは 25cm~35cm を中心とした山型グラフになっているのに対し、70km/h と 90km/h のアンダースローでは 15cm~35cm を中心とした山型グラフになっており、最頻値がより芯によっていた。このことから、90km/h のアンダースローは芯に当てやすいこと、90km/h のオーバースローと 90km/h のアンダースローでは 70km/h のオーバースローと 70km/h のアンダースローより芯付近に当てやすく、打者が打ちやすいことが示唆される。

表 13 バットの芯からの誤差

	~3.7(cm)	3.7~15(cm)	15~25(cm)	25~35(cm)	35~45(cm)	45~55(cm)	55~(cm)
70km/h(over)(回)	1	5	10	15	13	5	4
90km/h(over)(回)	1	5	8	7	3	3	2
70km/h(under)(回)	2	3	6	12	9	6	2
90km/h(under)(回)	5	8	11	9	3	4	2

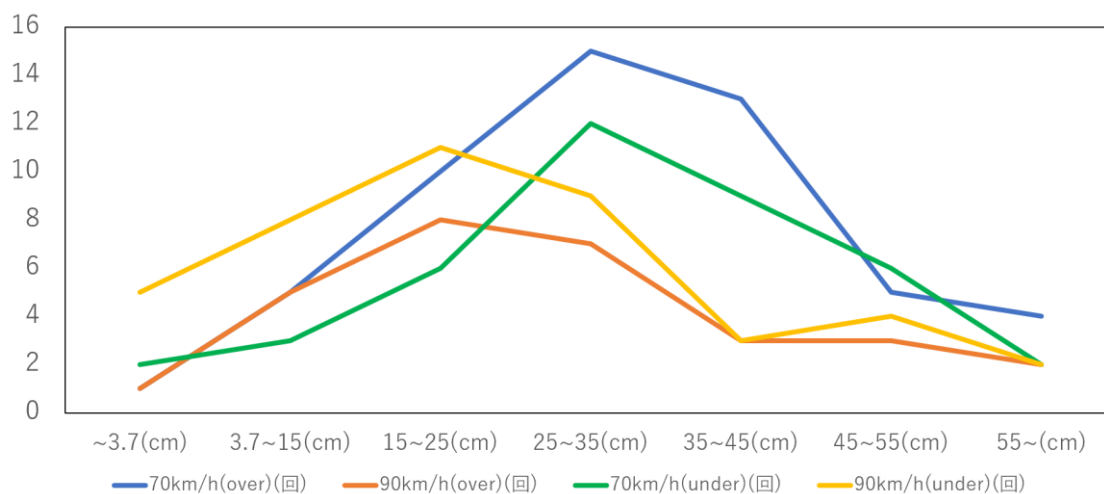
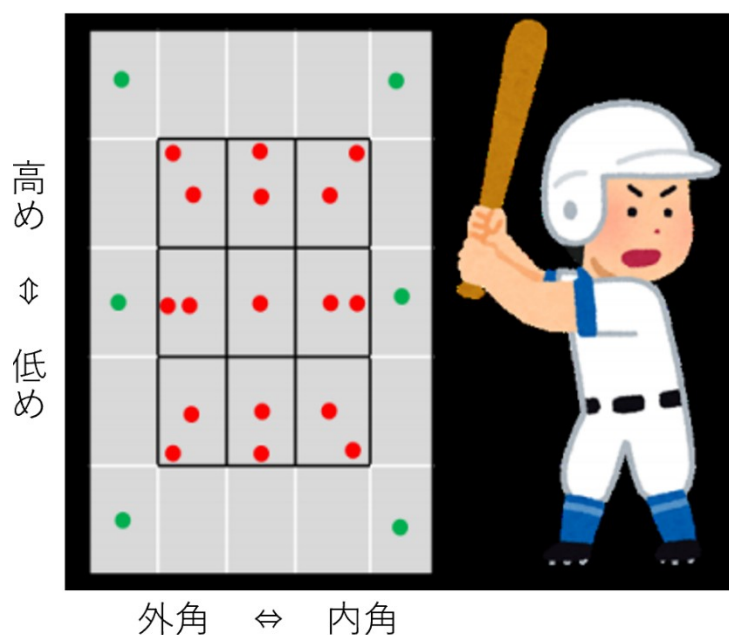


図 22 バットの芯からの誤差

4.3.3 接触したときのボールの位置

まず、図 23 のようにストライクゾーン(黒く囲った部分)を 3×3 分割し、ストライクゾーンの外部に 1 マスを設け、ボール球として 6 マスの投球位置を用いた。このときのゾーンごとの接触したときのボールの位置ごとの接触回数を図 6 に示す。●の大きさは各条件のゾーンごとの当たった回数と各条件全体の当たった回数の比率である。●内の数字は当たった回数である。図 24 の 70km/h のオーバースローを見ると、外角低めが比較的当たった回数が少ないが、全体的にはまんべんなく当たっていた。90km/h のオーバースローを見ると、内角中心付近には 1 度も当たっていなかったが、より内角のベルト付近には比較的当たっていた。70km/h のアンダースローを見ると、中心付近から低め、中心付近から内角のあたりに当たっている回数が少なかった。一方、高めや外角には当たっている回数が多かった。90km/h オーバースローを見ると、外角や内角には当たった回数は少なかったが、ど真ん中に当たった回数が多かった。このことから、70km/h のアンダースローでは、中心付近から低め、中心付近から内角のあたりが打者が打ちにくいことが示唆される。



外角 ⇔ 内角

- : ストライク(真ん中は×2)
- : ボール

図 23 ストライクゾーンの内訳

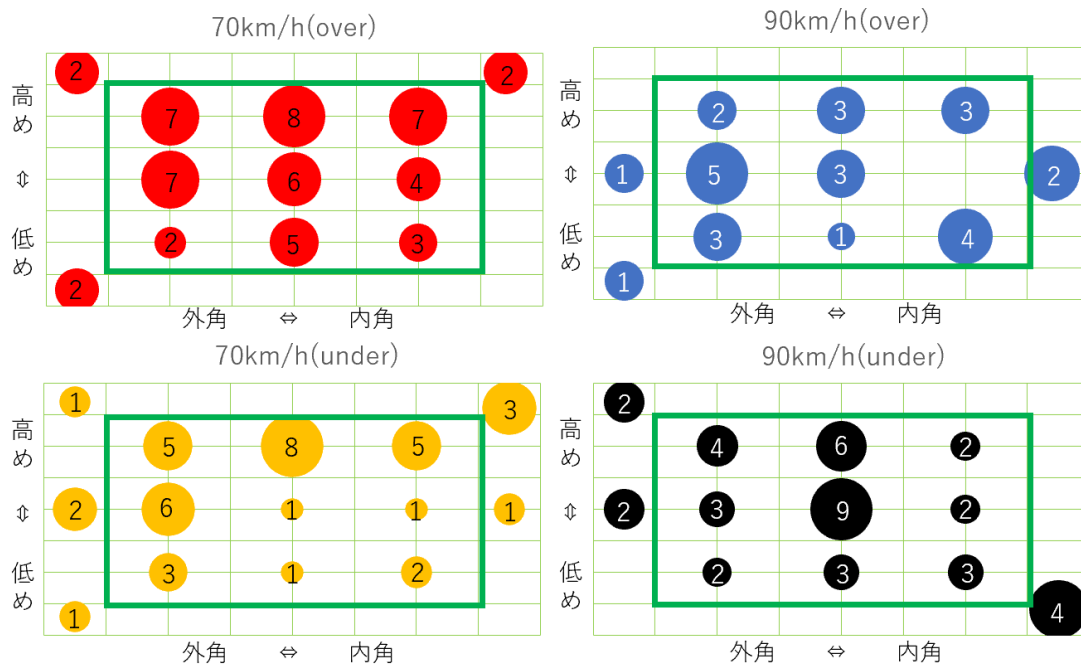


図 24 接触したときのゾーンごとのボールの接触回数

4.3.3.1 接触したときのボールの位置の閾値

次に、接触したときの図 23 のように分けたゾーンごとのボールの接触回数の特徴を調べるために、図 25 のように、ゾーンごとの当たった回数の少ない順に順位付けをした。このとき、70km/h と 90km/h のオーバースローではほぼ直線上に増えていた。一方で、70km/h のアンダースローでは、3 位までは横ばいだが、4 位から急激に右肩上がりしていた。90km/h のアンダースローでは、3 位までが横ばいで 4 位では一回分上がり、6 位まで横ばいで 7 位から急激に右肩上がりしていた。このことから、70km/h と 90km/h のアンダースローでは、打たれやすいゾーンと打たれにくいゾーンがはっきりしていることが示唆される。

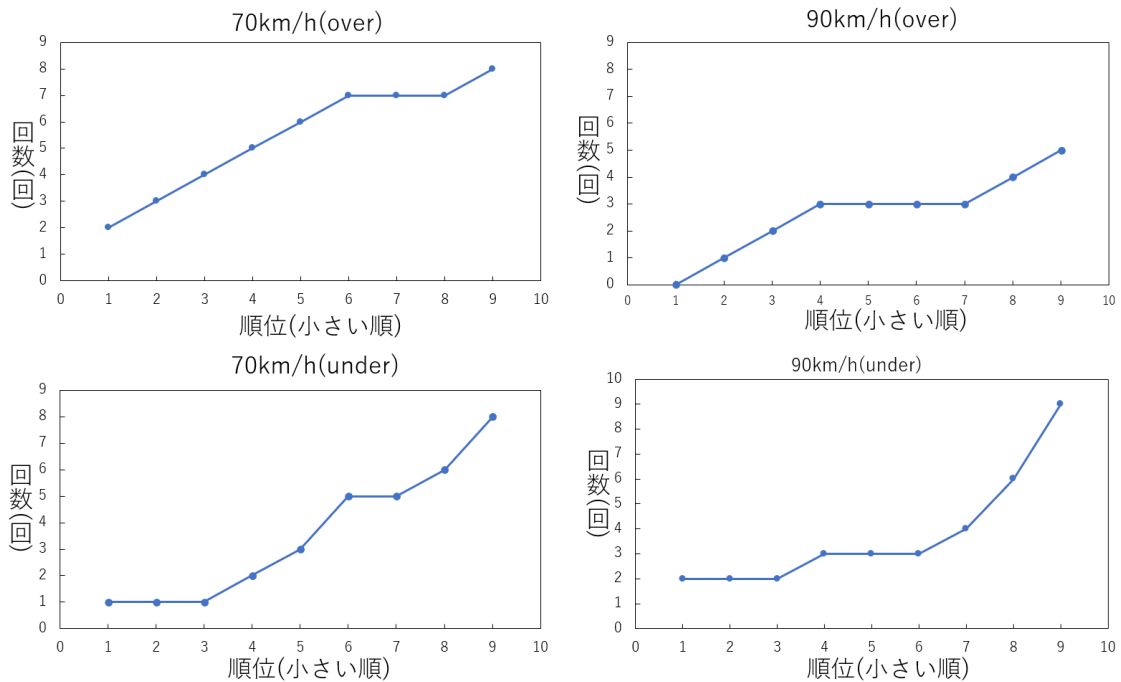


図 25 当たった回数のゾーンごとの順位

4.4 考察・課題

本実験では、VR 空間上にボールの投球を提示し、被験者には VR 空間上のバットと連動して実空間上にもバットを振ってもらうことで、打者の打ちやすさを調べた。本実験では、110km/h と 130km/h ではなかなかバットにボールを当てるのが難しいことや、バットスイングが速いとフレームの問題でボールを当たってもすり抜けてしまう可能性があることから第 2 章、第 3 章よりボールの速度を 40 km/h 下げて実験を行った。その結果、4.3.1 章では図 21 を見ると、70km/h と 90km/h のオーバースローでは 90km/h のオーバースローの方が一番接触率が低かった。このことに関しては、90km/h の方がボールが速かったのでバットにボールを当てにくかったことが考えられる。一方で、70km/h と 90km/h のアンダースローでは接触率がほぼ同じであった。このことに関しては、90km/h のアンダースローでは 90km/h のオーバースローとは違い、70km/h のオーバースローと比較して球が速い以外にアンダースローであると軌道が大きく変化する(一番高い位置が低くなるので、高低差が少なくなる)ので、90km/h のアンダースローの方が軌道が見やすくなり 70km/h と 90km/h のアンダースローで接触率が変わらなかったことが考えられる。また、4.3.2 章では図 22 を見ると 4 条件のうち 90km/h のアンダースローが一番芯に当てられていた。このことに関しては、90km/h のアンダースローの軌道に当てやすい要因があるのではないかと考える。また、90km/h のオーバースローとアンダースローの方が 70km/h のオーバースロー

ーとアンダースローより最頻値が10cmほど芯によっていた。このことは、70km/hだとボールの軌道の山なり具合が大きくなったので芯に合わせにくかったと考えられる。ボールが遅すぎると、打者が芯に当てづらくなると考えられる。また、4.3.3章では、図24のアンダースローを見るとベルトから低め、真ん中から内角の付近で当たった回数が少なかった。また、図25の70km/hと90km/hのグラフより、70km/hと90km/hのアンダースローには3位以降から急激に右肩上がりになっていることから、アンダースローははっきりとした優位点や欠点があるのではないかと考えた。そこで、各4条件のストライク3×3マスの軌道を出した。

図26に70km/hのオーバースローの70km/h(over)のストライク3×3マスの軌道を示す。図26の軌道は、投手のいる場所から投球から始まる。図26の70km/hのオーバースローを見ると、目立った当てにくいゾーン、当てやすいゾーンはなかったことから、どの軌道も得意、不得意なくボールの軌道を捉えられたと考えられる。

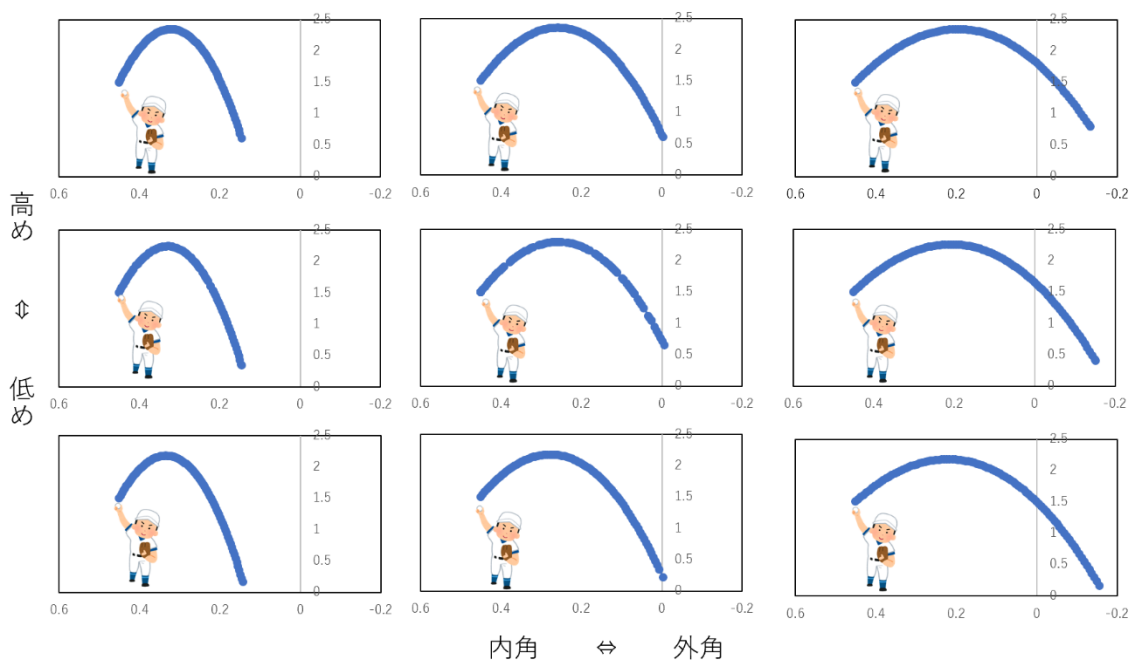


図26 70km/h(over)のストライク3×3マスの軌道

次に、90km/h のオーバースローのストライク 3 × 3 マスの軌道を図 27 に示す。図 24 の 90km/h のオーバースローを見ると、内角のベルト付近に 1 球も当てられていなかった。図 27 でいうと、赤マスで囲った軌道に対して当てられていない、つまり打ちにくいということになる。内角のボールだと、縦の高低差が急にボールが落ちたように見えるので、速い球は高くもなく低くもないボールに当てるのはバットの出し方の判断が難しかったために当てられなかったと考えられる。

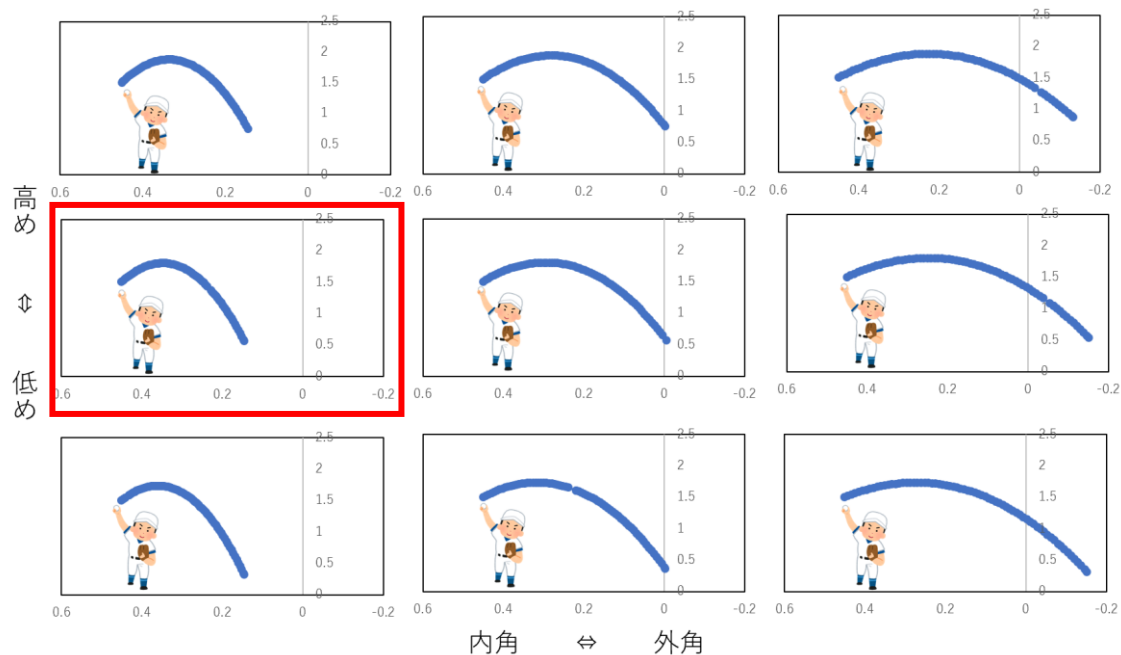


図 27 90km/h(over)のストライク 3 × 3 マスの軌道

次に、70km/h のアンダースローのストライク 3 × 3 マスの軌道を図 28 に表す。70km/h のアンダースローでは、図 24 を見るとベルトから低め、真ん中から内角の付近で当たった回数が少なかったことから、図 28 の赤マスで囲った部分の軌道が打ちにくいといえる。アンダースローは下から浮き上がってまた下がってくるので、下がってきたときに近くにきたボールに打者が反応しづらくてその結果当てにくくなったのではないかと考えられる。

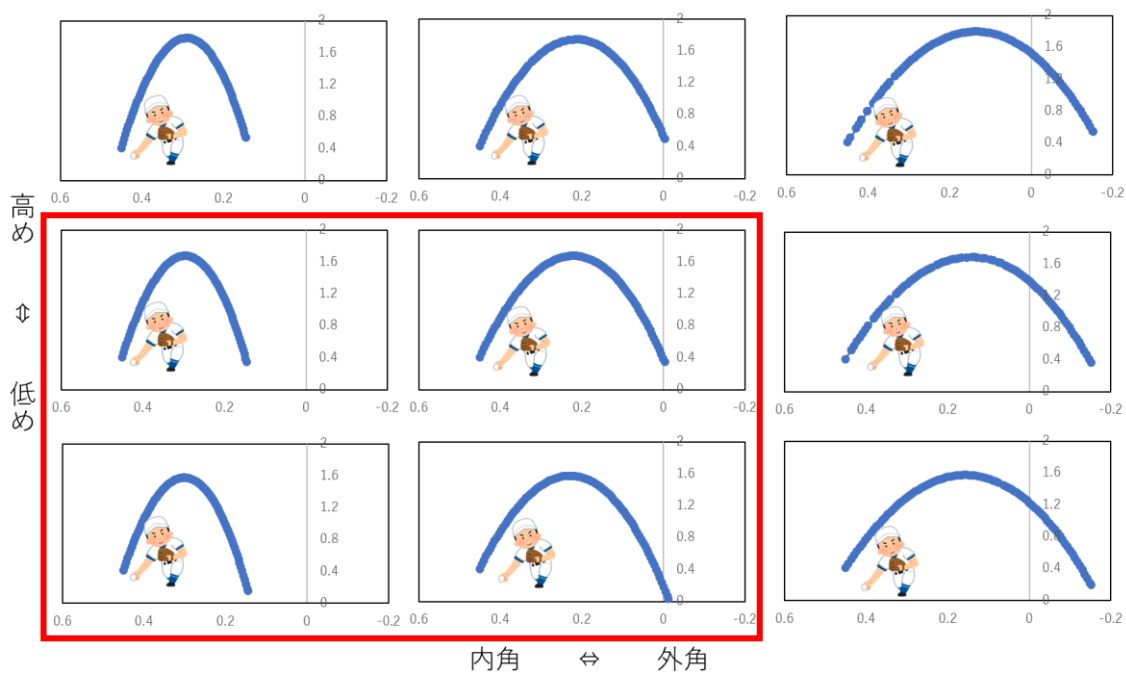


図 28 70km/h(under)のストライク 3 × 3 マスの軌道

最後に、90km/h のアンダースローのストライク 3 × 3 マスの軌道を図 29 に表す。90km/h のアンダースローでは、図 24 をど真ん中に来た球を多く当てられていたことから、図 10 の赤マスで囲った部分の軌道が打ちやすいといえる。他の条件よりも真ん中の当たった回数が多いこと、また図 22 の~3.7cm の列から芯に当たった回数も多かったことから、90km/h の速さになると真ん中がはっきりとした弱点になるといえる。90km/h のアンダースローのど真ん中の軌道が、打者にとって無意識的に打ちやすい軌道になっているのではないかと考えられる。

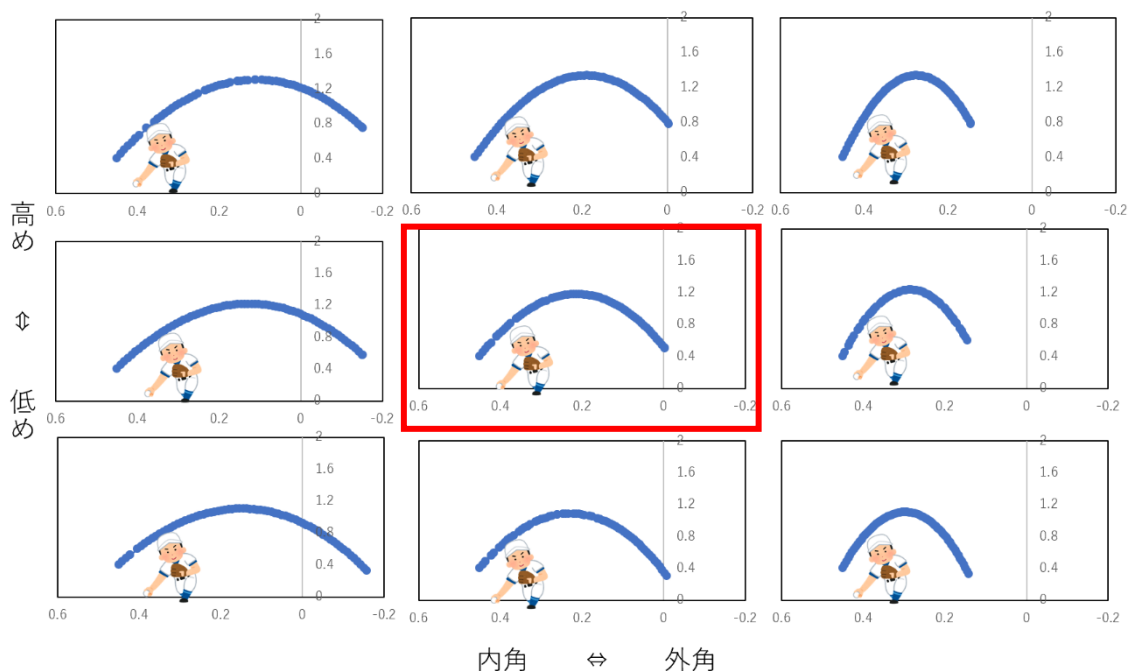


図 29 90km/h(under)のストライク 3 × 3 マスの軌道

第5章 結論

日本のアンダースロー投手は、数は少ないながらも近年も活躍し続けている。しかし、このまま減少し続けてしまうと、遠くないうちにアンダースロー投手はいなくなってしまう。アンダースロー投手を減らさないために、増やすためにはアンダースロー投手が活躍する必要がある。しかし活躍するには絶対数の少なさから指導者不足、データ不足、研究不足と不利な部分が多い。しかし昨今では技術の発展から様々な角度からデータをとることが可能になっている。そこで私は、様々な角度からVRに着目し、アンダースローと他の投球を比較したときのバッティング成績から、アンダースローの優位性を新たに発見することを目的としていた。

まずは、近年のアンダースロー投手に関してセイバーメトリクス分析から既存の優位点や欠点を発見した。そこで、このデータにないアンダースローの新たな優位点を見つけるべく、2Dの簡易バーチャルリアリティ環境からVIVEコントローラー、木製バットと段階を踏んで実験を行った。

実験の結果から、オーバースローとアンダースローでは打者にとって明確な違いがあること、VRで実験する意義があることが分かった。そして、第4章ではHMDをつけてVR空間で投球を見せつつバットを振ってもらい、実空間上でも木製バットを持って実験を行った。その結果、アンダースローは、オーバースローに比べて70km/hの遅い球だと真ん中から内角、真ん中から低めのゾーンがバットにボールを当てにくく有利であること、90km/h程度の速い球だと真ん中に良くバットにボールを当てられるという弱点があることが分かった。私はこの理由を打者視点で見るボールの軌道に原因があると踏んでいる。図25の70km/hのアンダースローと90km/hのアンダースローから、打たれにくいコースが多いこと、逆に打たれやすいコースもあること、それに図26～図29の各条件・各コースの球軌道から、打者から見たボールの軌道には高低差による錯視的な効果があり、このことが打者の打ちやすさに関わってくると考えられる。また、この錯視的效果を利用することでアンダースローの投球に戦略的な優位点を生み出すかもしれない。アンダースローは、オーバースローに比べて明確な弱点もあり、明確な強みもある。アンダースローは、まだまだ奥深い投球法であり、明らかにされていない部分、明らかにしたい部分の多い投球法である。

今後は、右打者・右投手だけでなく左打者・左投手でも実験を行うこと、オーバースローとアンダースローだけでなくサイドスローやスリークウォーターも含めて実験を行うこと、野球経験が豊富な人で実験を行うこと、変化球も用いること、速度を上げて日本プロ野球の選手と同程度の速度で実験を行うことなど、まだまだ課題は山積みである。今はまだアンダースローの研究は少なく、絶対数が少ない分除外されやすいので、私の研究によりアンダースローを研究する人が少しでも増えて、その結果アンダースロー投手が更に活躍し、アンダースロー投手の人数が増えていくことを切に願う。

参考文献

- [1] データで楽しむプロ野球 <http://baseballdata.jp/> (2020/7/28 参照)
- [2] 渡辺俊介, “野球 アンダースロー”, 株式会社ベースボールマガジン社, 2016
- [3] nf3 Baseball Data House <http://nf3.sakura.ne.jp/> (2020/7/28 参照)
- [4] NPB 日本野球機構 <https://npb.jp/award/> (2020/7/28 参照)
- [5] 左対左は投手が有利? ワンポイントリリースの有効性についてプロ野球データで検証
https://www.baseballgeeks.jp/npb/throws_bats_combination/ (2020/7/28 参照)
- [6] WBC 公式サイト (NPB) <https://npb.jp/wbc/> (2020/7/28 参照)
- [7] WBSC 公式サイト <https://www.wbcs.org/ja/> (2020/7/28 参照)
- [8] スポニチ 2019/11/06 プエルトリコ、侍Jに完敗 ゴンザレス監督「高橋礼のようなアンダースローはほぼ見たことがない」 (2020/7/28 参照)
<https://www.sponichi.co.jp/baseball/news/2019/11/06/kiji/20191106s00001004408000c.html>
- [9] 宮西智久ほか, “野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する 3 次元的研究”, 体育学研究 41, p23-37, 1996
- [10] 高崎恭輔ほか, “アンダースロー投法の動作分析- 『動作中の関節運動が持つ意義』に着目して-”, 関西理学 7, p43-49, 2007
- [11] VIVE 公式サイト <https://www.vive.com/jp/> (2020/7/28 参照)
- [12] unity 公式サイト <https://unity.com/ja> (2020/7/28 参照)
- [13] アンダースローマシン
<https://ameblo.jp/beppu-nisshin/entry-12178125029.html> (2020/7/28 参照)
- [14] 硬式用分割式ローターマシン
<http://www.sports-machine.co.jp/nb650k.html> (2020/7/28 参照)
- [15] ベースボールトレーニング VR システム 「iCube」 日本球界初導入
https://www.baystars.co.jp/news/2017/03/0301_03.php (2020/7/28 参照)
- [16] VirtualCast 公式サイト <https://virtualcast.jp/> (2020/7/28 参照)

謝辞

本研究を進めるにあたり，ご助言および研究環境を提供して下さった日高昇平准教授に感謝申し上げます。日高先生には，議論にも多くの時間を費やしていただき，私の度々出る思い込みを指摘していただき，また，研究に対する助言をいただき，改めて感謝申し上げます。

また，鳥居拓馬助教には，私が苦手であるプログラミングや，実験で得たデータの分析方法など多くの助言をいただきました。この研究ができたのも鳥居先生のおかげです。改めて感謝申し上げます。

先輩として様々な研究の助言や参考になる学生生活のアドバイスをいただいた先輩の加藤さん，小林さん，そして日高研究室の同期であり，実験に協力してくれたり，どうしてもいいことを共にしゃべり合ったりした河合君，小山君，宮本さん，そして実験に協力してくれて，不手際が多い実験準備を手伝ってくれた小熊君，実験快く参加してくれた亀井君，佐々木君，朱君，そして岡崎さん，更には他研究室でありながら実験に協力してくれた小林君，牧岡君にも感謝を申し上げます。

最後に，私がアンダースローという好きな分野の研究ができたこと，そして私がこの北陸の僻地に行くことを許してくれて，経済的支援をしていただいた家族にも心から感謝申し上げます。