大学野球におけるストレートのリリース速度と回転速度の効力の検証[†]林 卓 史^{*, **} 佐 野 毅 彦^{***}Verification of the Effects of the Release and Rotational Velocity of Four-seam Fastballs in College Baseball[†]Takafumi HAYASHI^{*, **} and Takehiko SANO^{***}

Abstract

Purpose: To verify, quantitatively, how difficult the effects of release velocity [RLV] and the rotational velocity [RTV] of four-seam fastballs are for batters to hit and the effect of the RTV of fastballs on the type of shots in college baseball. **Methods:** Eight hundred forty fastballs thrown by University A's 11 pitchers in the 2017 league games were analyzed. The RLV was measured by a device installed in the stadium. The RTV were estimated by the RLV with the regression model, which was calculated from the data measured by the tracking system during the training session. To assess the difficulty to hit, a logistic regression analysis was used. To examine the type of shots, a chi-square analysis was used. **Results:** The RLV was significantly associated with swing and miss (odds ratio [OR]=1.07, 95% confidence interval [CI]: 1.01-1.13), after adjusting for the number of strikes, meeting the minimum plate appearance requirement, and batting average. Compared with the moderate RTV fastballs (exceeding 1,928.7 rpm and 2,304.7 rpm or less; the reference group), the high RTV fastballs (above 2,304.7 rpm) showed a significantly higher OR (1.90, 95%CI: 1.17-3.10) of swing and miss. The OR of shots into the fair zone (0.63, 95%CI: 0.42-0.95) and of making a base hit (0.49, 95%CI: 0.25-0.97) were significantly lower among the high RTV fastballs. A significant interaction was found between the estimated RTV and the type of shot ($\chi^2=8.47$, $df=2$, $p=.014$). **Conclusion:** The higher the RLV of four-seam fastballs the more likely the result of a swing and miss. The high RTV fastballs result more likely in a swing and miss, less in shots into the fair zone and less in making a base hit, than the moderate RTV fastballs. The low RTV fastballs more likely result in grounders.

Key words : Pitching, Release Velocity, Rotational Velocity, Tracking System, College Baseball

1. 背 景

大学野球では、投手が投じるボールはリリー

ス速度（投手の手元から離れる時点での直進速度）が150km/hに迫るストレートから100km/h程度のチェンジアップのような変化球まで多彩

[†] 原稿受付 2018年12月13日 原稿受諾 2019年2月14日

* 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科 〒252-0882 神奈川県藤沢市遠藤5322

** 朝日大学経営学部 〒501-0296 岐阜県瑞穂市穂積1851

*** 慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科 〒252-0883 神奈川県藤沢市遠藤4411

* Graduate School of Media and Governance, Keio University, 5322, Endo, Fujisawa, Kanagawa, Japan (252-0882)

** Faculty of Business Administration, Asahi University, 1851, Hozumi, Mizuho, Gifu, Japan (501-0296)

*** Graduate School of Health Management, Keio University, 4411, Endo, Fujisawa, Kanagawa, Japan (252-0883)

である。たとえば、全日本大学野球連盟に加盟するX連盟では、2015年春季から2017年秋季までの6シーズンに投手が投じた球種は13種類であった(全222試合64,680球のうち球種を識別できた64,292球が対象)。構成比上位3球種はストレート(59.0%)、スライダー(18.2%)、カーブ(5.9%)であった(X連盟に加盟するA大学野球部の記録担当の学生が作成したスコアブックに基づく集計結果)。構成比第1位のストレートは全体の6割を占め、また、第2位のスライダーの3倍以上の球数が投じられたことがわかる。投球の基本はストレートであるといわれるが、これはストレートの重要性が示唆されるデータといえる。

ストレートはリリース速度が大きいほど打ちにくいと考えられている。投手板から本塁までの距離は18.44mであるが、投手は軸足を投手板に触れて置いた状態で他の足(踏み込み足)を本塁方向へ踏み出して投げるため、投手のリリースポイント(ボールが投手の手元から離れる位置)からバッターのコンタクトポイント(ボールにバットが当たる位置、空振の場合はボールとバットがすれ違う位置)までの距離は17m程度と想定される。コンタクトポイント到達時点でのボールの速度はリリース速度から5%程度減少することが報告されているが¹⁾、この減少率を加味しても、リリース速度130km/hのストレートがリリースポイントからコンタクトポイントまでに到達する時間は0.5秒に満たない。打撃のように、スイングする・しないを選択する運動はGo/Nogo課題と呼ばれるが、熟練した打者のGo/Nogo課題反応時間は0.2~0.3秒と報告されており²⁾、スイングには0.2秒程度要することから³⁾、リリース速度が大きければボールの見極めに充てられる時間がより限定され、安打を放つ難易度は必然的に高まることになる。

リリース速度の大きさのほかに、伸びのあるストレートも打ちにくいと考えられる。伸びとは打者の主観的な評価であるが、バットスイングの軌道がボール下側となるようなボールを指

すと考えられる。投手が投げるボールの軌道は、リリース速度、回転速度、投射角度、回転軸の方向、空気密度の違いによって定まるとされるが⁴⁾、バックスピン(進行方向に対する逆回転で、回転軸の方向は進行方向と重力方向と直交し一塁と三塁を結ぶ方向と平行)はボールに揚力を生じさせ、バックスピンの回転速度が大きいほどボールに作用する揚力が大きくなること⁵⁾⁻⁷⁾、ボールの回転軸が水平でボールの進行方向と直交する場合に揚力は最大となり、角度が小さくなると揚力が弱まること⁶⁾が報告されている。ストレートの回転軸は30°程度傾いており、軌道は進行方向に対して投球腕方向(右投げの場合は3塁方向)へ傾くことが報告されている⁶⁾⁸⁾⁹⁾。ストレートの回転は純然たるバックスピンではないが、他の変化球と比較して相対的にバックスピンの傾向が強い⁹⁾ため、揚力の影響は比較的強く、ストレートの軌道の到達点は、回転速度が大きい場合には上方、小さい場合には下方となる。したがって、見慣れた回転速度よりも回転速度が大きいストレートの場合、想定する軌道よりも到達点が上方となるため、打者はボールが浮き上がるような錯覚に陥ると考えられ⁵⁾⁻⁷⁾、これが伸びのあるストレートを意味し、ボール通過点より下側の空振、あるいはボールの下側を打つことによるフライが多くなることが想定される。見慣れた回転速度よりも回転速度が小さいストレートの場合には、到達点が想定より下方となるため、打者がボールの上側を打つ傾向があることが報告されており⁷⁾、打球はゴロが多くなることが想定される。

先行研究から、打ちにくいストレートの条件は、リリース速度が大きく、標準的な(見慣れた)回転速度からの乖離が大きい回転速度であることが想定される。また、回転速度が大きいと打球種類がフライとなり、小さいとゴロとなる傾向が想定される。これらは諸条件が統制された実験に基づく結果から導き出された仮説であり、実践との整合の度合いは明らかになっていないが、第一著者(高校、大学、社会人で投

手として全国大会出場経験があり、15年の投手指導経験を有する)の経験に基づく実践知とは符号する。

2. 目 的

本研究では、大学生投手が投げるストレートについて、リリース速度と回転速度が打ちにくさに与える影響と、回転速度が打球の種類に与える影響を定量的に検証することを目的とする。本研究で得られた知見により、リリース速度と回転速度という客観的な指標に基づいたピッチング指導が可能となり、また、大学生投手の技術向上やタレント発掘に寄与することが期待される。

3. 方 法

3.1 対象

全日本大学野球連盟に加盟するA大学野球部に所属する投手のうち2017年リーグ戦27試合(春季リーグ戦14試合、秋季リーグ戦13試合)に登板機会を得た12人(春季リーグ戦9人、秋季リーグ戦9人)が投じたストレートを対象とした。なお、投球1球ごとの結果は、空振、ファウル(邪飛含む)、凡打(失策出塁、野手選択、犠飛含む)、安打、犠打、見送、死球のいずれかであるが、犠打、見送、死球では打者がバットをスイングしていない、すなわち打つ意思がないと判断し、分析対象から除外することとした。

なお、A大学はX連盟に加盟しており、X連盟からは多くのプロ野球選手やオリンピック日本代表選手が輩出されており、さらに、同連盟の春季リーグ戦優勝校は全日本大学野球選手権大会で優勝25回、準優勝8回、秋季リーグ戦優勝校は明治神宮野球大会で優勝13回、準優勝15回という戦績を残していることから(2017年度末時点)、X連盟の競技水準は大学最高レベルに相当するといえる。

3.2 リリース速度と回転速度

リリース速度は競技場に設置された計測器に

よる計測値とした。リーグ戦の試合はすべて同一競技場で開催され、当該競技場内の大型映像装置に整数値として表示されたリリース速度を記録した。回転速度は計測値が表示されないため、練習時に計測したリリース速度と回転速度に基づきリリース速度による回転速度の推定式を算出し、この推定式を用いて競技場で表示されたリリース速度から推定回転速度を求めた。練習時のリリース速度と回転速度はトラッキングシステムRapsodo Baseball (Rapsodo, Indianapolis, USA)によって計測した。計測期間はリーグ戦開催期間と同一とした。なお、リリース速度と回転速度との間の正の強い相関関係が報告されていることから¹⁰⁾、リリース速度と推定回転速度との間の関係をPearsonの積率相関係数 r により確認することとした。また、リリース速度と推定回転式それぞれについて平均値と標準偏差を求め、平均値から標準偏差が1だけ離れた値で分割し、低群(「平均値-標準偏差」以下)、中群(「平均値-標準偏差」超「平均値+標準偏差」以下)、高群(「平均値+標準偏差」超)の3群からなる順序尺度へ変換したのち、リリース速度3群と推定回転速度3群によるクロス集計を行い、リリース速度と推定回転速度の分布状況を確認することとした。

3.3 リリース速度と回転速度が打ちにくさに与える影響の検証

野球では投球結果に対する偶然の影響は過小評価できない。バットの芯で捉えられた会心の当たりが野手の正面を突けば記録上は凡打となり、バットの芯を外れたゴロ(いわゆるボテボテのゴロ)が野手の間隙を抜ければ記録上は安打となる。リリース速度や回転速度といった球質が投球結果に与える影響を検証するにあたり、球質以外の諸要因の統制は難しい課題である。そこで本研究では、目的変数に用いるアウトカムを段階的に変え、リリース速度と推定回転速度を説明変数とするロジスティック回帰分析を行うこととした。第一段階のアウトカムは空振か否かとした。ボールにバットを当てられ

なければ、安打となる偶然の余地はないからである。第二段階のアウトカムは、ボールをフェアゾーンに打ち返されたか否かとした。バットコントロールや風などの影響は否めないが、フェアゾーンに打ち返されなければ、安打となる偶然の余地はないからである。第三段階は、バットコントロールや風、守備位置、グラウンドコンディションなどの影響は否めないが、安打か否かとした。説明変数となるリリース速度については、大きければ打ちにくさが増すと想定されるため、比率尺度のまま用いることとした。回転速度については、標準的な回転速度からの偏差が大きい（すなわち、見慣れない回転速度である）と打ちにくさが増すと想定されるため、順序尺度化した推定回転速度を用いることとし、参照カテゴリーは中群とした。リリース速度と順序尺度化した推定回転速度との多重共線性の有無はSpearmanの順位相関係数 ρ で確認することとした。ストライクカウントや打者の技術水準の影響は無視できないため、調整変数としてストライクカウント数、規定打席数（X連盟規定：試合数 $\times$ 3.1）到達の有無、打率（安打数を打数で除した値）を用いることとした。有意水準は5%とし、解析にはSPSS ver.25 (IBM)を用いた。また、ロジスティック回帰分析と併せて、順序尺度化したリリース速度3群と推定回転速度3群の組み合わせ別に、空振、フェアゾーン、安打それぞれの比率を確認することとした。

3.4 回転速度が打球の種類に与える影響を検証

先行研究より、打球の種類は、回転速度が小さいほどゴロとなる傾向が強く、大きいほどフライとなる傾向が強くなることが想定される。打球種類は一般的にゴロ、フライ、ライナーで識別されるが、打たれたボールがフィールド上でバウンドあるいは転がりながら進行する状態をゴロと判断することは容易であるが、打ったボールがフィールド上に接地することなく捕球されるもしくは場外に達する状態をフライとラ

イナーに分けて客観的に識別するのは容易ではない。そこで、打球種類をゴロか否かとし、名義尺度化した推定回転速度（低中高の3群）と打球種類（ゴロ・非ゴロ）との関連の有無を χ^2 検定にて検証することにより、回転速度が打球種類に与える影響を確認することとした。有意水準は5%とし、解析にはSPSS ver.25 (IBM)を用いた。

3.5 倫理的配慮

本研究で用いたデータは、研究の目的、プライバシーの保護、研究協力の任意性、研究データの取り扱い、研究結果の公表方法に関する説明を行い、同意を得たうえでA大学野球部から提供された。個人名や大学名などの固有名詞はすべて匿名化した。本研究は慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科倫理審査委員会の許可を得て実施された（受理番号：141、承認日：2017年3月21日）。

4. 結果

4.1 対象

2017年リーグ戦に登板機会を得た投手12人のうち練習時にリリース速度と回転速度を計測できなかった1人を除外し、11人を分析対象とした。この11人がリーグ戦で投じたストレートは合計2,136球であった。犠打（35球）、見送（1,183球）、死球（11球）を除外した907球のうち、リリース速度が競技場内に表示されたのは840球であった（有効率93%）。有効球の内訳は空振127球（15%）、ファウル375球（45%）、凡打222球（26%）、安打116球（14%）であった。バットに当てられたボールは713球で、その内訳（打球種類）はゴロ230球（32%）、非ゴロ483球（68%）であった。

4.2 リリース速度と回転速度

対象投手11人それぞれの練習時のリリース速度と回転速度の分布状況、リリース速度による回転速度の推定式は図1のとおりであった。

リーグ戦で投じられたストレートのうち分

図1 練習時の投手別ストレートのリリース速度と回転速度の分布状況
およびリリース速度 (x) による回転速度 (y) の推定式

析対象840球のリリース速度の平均値（標準偏差）は137.5（4.4）km/h、最小値は118km/h、最大値は148km/hであった。練習時の計測結果から算出したリリース速度による回転速度の推定式を用いてリーグ戦での回転速度を求めた結果、平均値（標準偏差）は2,116.7（188.0）回転/分、最小値は1,740回転/分、最大値は2,544回転/分であった。リリース速度と推定回転速度との間には有意な正の弱い相関が認められた（ $r = .372$, $p = .000$ ）。リリース速度（km/h）の「平均値－標準偏差」は133.1, 「平均値＋標準偏差」は141.8であったことから、低群は133.1km/h以下、中群は133.1km/h超141.8km/h以下、高群は141.8km/h超となった。推定回転速度（回転/分）の「平均値－標準偏差」は1,928.7, 「平均値＋標準偏差」は2,311.4であったことから、低群は1,928.7以下、中群は1,928.7超2,304.7以下、高群は2,304.7超となった。順序尺度化したし

たリリース速度3群と推定回転速度3群のクロス集計による分析対象ストレートの分布状況は表1のとおりであった。

4.3 リリース速度と回転速度が打ちにくさに与える影響の検証

リリース速度と順位尺度化した推定回転速度との間に有意な正の弱い相関関係が認められたが（ $p = .374$, $p = .000$ ）、多重共線性の影響はないと判断した。投球結果を示す3つのアウトカム、空振（空振か否か）、フェアゾーン（打球をフェアゾーンに打ち返されたか否か）、安打（安打か否か）を目的変数、リリース速度と順序尺度化した推定回転速度を説明変数、ストライクカウント数、規定打席到達の有無、打率を調整変数とするロジスティック回帰分析を行った結果を表2に示す。

空振を目的変数（1＝空振、0＝非空振）とする解析の結果、空振とリリース速度との間に有意な関連が認められ、オッズ比（95%信頼区間）は1.07（1.01－1.13）であった。推定回転速度については、中群と低群との差は認められなかったが、中群と比べて高群のオッズ比（95%信頼区間）は1.90（1.17－3.10）と有意に高い値を示した。フェアゾーンを目的変数（1＝フェアゾーン、0＝非フェアゾーン）とする解析の結果、フェアゾーンとリリース速度との間に有

表1 リリース速度・推定回転速度別ストレートの分布（ $n=840$ ）

		回転速度			
		低群	中群	高群	計
リリース速度	低群	1.2%	14.3%	－	15.5%
	中群	14.2%	43.0%	11.0%	68.1%
	高群	0.6%	6.4%	9.4%	16.4%
	計	16.0%	63.7%	20.4%	100.0%

表2 リリース速度・推定回転速度と投球結果との関連

	空振			非フェアゾーン			非安打		
	OR	95%CI	p	OR	95%CI	p	OR	95%CI	p
リリース速度	1.07	1.01－1.13	.024	0.98	0.95－1.02	.337	0.97	0.92－1.02	.218
推定回転速度									
低群	0.71	0.38－1.34	.294	0.96	0.65－1.42	.842	0.92	0.54－1.59	.771
中群	1.00			1.00			1.00		
高群	1.90	1.17－3.10	.010	0.63	0.42－0.95	.029	0.49	0.25－0.97	.042

調整変数: ストライクカウント数、規定打席到達の有無、打率

OR: オッズ比, 95%CI: 95%信頼区間

空振: 空振か否か（1＝空振, 0＝非空振）

フェアゾーン: 打球をフェアゾーンに打ち返されたか否か（1＝フェアゾーン, 0＝非フェアゾーン）

安打: 安打か否か（1＝安打, 0＝非安打）

意な関連は認められず、推定回転速度については、中群と低群との差は認められなかったが、中群と比べて高群のオッズ比（95%信頼区間）は0.63（0.42-0.95）と有意に低い値を示した。安打を目的変数（1 = 安打, 0 = 非安打）とする解析の結果、非安打とリリース速度との間には有意な関連は認められず、推定回転速度については、中群と低群との差は認められなかったが、中群と比べて高群のオッズ比（95%信頼区間）は0.49（0.25-0.97）と有意に低い値を示した。

順序尺度化されたリリース速度3群と推定回転速度3群の組み合わせ別の空振、フェアゾーン、安打それぞれの比率は表3～表5のとおりであった。空振の比率は平均15%で、リリース速度高群・回転速度高群（30%）とリリース速度中群・回転速度高群（24%）が高い傾向にあり、その他の群は平均値以下であった（表3）。

フェアゾーンの比率は平均40%で、リリース速度高群・回転速度高群（25%）とリリース速度中群・回転速度高群（34%）が低い傾向にあり、その他の群は平均値以上であった（表4）。

安打の比率は平均14%で、リリース速度高群・回転速度高群（4%）とリリース速度高群・回転速度低群（0%）が低い傾向にあり、リリース速度高群・回転速度中群（11%）とリリース速度低群・回転速度低群（10%）が平均値をやや下回る低い傾向にあり、その他の群は平均値を上回った（表5）。

4.4 回転速度が打球の種類に与える影響の検証

推定回転速度と打球種類との関連の有無を χ^2

乗検定にて検証した結果、有意な関連が認められた（ $\chi^2=8.48$, $df=2$, $p=.014$; 表6）。推定回転速度低群ではゴロの比率（40%）が高い傾向にあり、高群ではゴロの比率（23%）が低い傾向にあることが示唆された。

表3 リリース速度・推定回転速度別空振率

		回転速度			
		低群	中群	高群	計
リリース速度	低群	0%	9%	—	9%
	中群	11%	14%	24%	15%
	高群	0%	15%	30%	23%
	計	10%	13%	27%	15%

注）ストレート840球のうち空振は127球

表4 リリース速度・推定回転速度別フェアゾーン率

		回転速度			
		低群	中群	高群	計
リリース速度	低群	40%	48%	—	47%
	中群	43%	42%	34%	41%
	高群	40%	43%	25%	32%
	計	43%	43%	30%	40%

注）ストレート840球のうちフェアゾーンへ打ち返されたのは338球

表5 リリース速度・推定回転速度別安打率

		回転速度			
		低群	中群	高群	計
リリース速度	低群	10%	18%	—	18%
	中群	16%	16%	10%	15%
	高群	0%	11%	4%	7%
	計	15%	16%	7%	14%

注）ストレート840球のうち安打は116球

表6 推定回転速度別打球種類構成比の比較

推定回転速度	n	ゴロ	非ゴロ	χ^2	df	p
低群	121	40%	60%	8.48	2	.014
中群	467	33%	67%			
高群	125	23%	77%			
計	713	32%	68%			

ASR：調整済み標準化残差, df：自由度

5. 考 察

5.1 ストレーートのリリース速度と回転速度が打ちにくさに与える影響

リリース速度が大きいストレーートは打ちにくく、また、回転速度が小さいもしくは大きいストレーートも打ちにくいことが想定されたことから、大学生投手を対象として、リリース速度と回転速度がストレーートの打ちにくさに与える影響を定量的に検証するため、投球結果を示す3つの段階別アウトカムを目的変数、リリース速度と順序尺度化した推定回転速度を説明変数、ストライクカウント数、規定打席到達の有無、打率を調整変数とするロジスティック回帰分析を行った。空振を目的変数とした場合（1 = 空振, 0 = 非空振）、リリース速度のオッズ比（1.07）は有意に高い値を示し、推定回転速度中群と比較して高群のオッズ比（1.90）は有意に高い値を示した。フェアゾーン（打球をフェアゾーンに打ち返されたか否か）を目的変数とした場合（1 = フェアゾーン, 0 = 非フェアゾーン）、推定回転速度中群と比較して高群のオッズ比（0.63）は有意に低い値を示した。安打を目的変数とした場合（1 = 安打, 0 = 非安打）、推定回転速度中群と比較して高群のオッズ比（0.49）は有意に低い値を示した。以上から、リリース速度が大きくなるほど空振の確率が高まることが示唆された。つまり、リリース速度の増加は、バットにボールを当てさせない確率を高めることにはつながるが、バットに当てさせてしまうとその後の結果には影響を及ぼさないことが推察される。また、推定回転速度高群は2,304.7回転/分超であることから、およそ2,300回転/分を超える回転速度があれば空振の確率が高まり、フェアゾーンに打ち返される確率は低くなり、安打を打たれる確率も低くなることが示唆された。

5.2 ストレーートの回転速度が打球の種類に与える影響

回転速度が大きいと打球種類がフライとな

り、小さいとゴロとなる傾向が想定されることから、順序尺度化した推定回転速度と打球種類との関連の有無を χ^2 検定にて検証した結果、有意な関連が認められ、推定回転速度低群ではゴロの比率が高い傾向にあり、高群ではゴロの比率が低い傾向にあることが示唆された。この結果は先行研究と符合するものであり、実験の場で得られた結果は実践の場にも適用されることが証明されたとみなすことができる。

5.3 ストレーートのリリース速度と回転速度に基づく指導指針

以上の結果を踏まえると、ストレーートのリリース速度と回転速度に基づき、以下のような投手の指導指針が導き出せると考えられる。リリース速度と回転速度が大きいストレーートを投げる投手に対しては二段階の指導を行い、第一段階では強く腕を振ってストレーートを投げることを求め、第二段階では高めのコースへストレーートを積極的に投げることを求めることが妥当であると考ええる。投球動作は、軸足から踏み込み足への重心移動を伴う並進運動と、股関節を中心とした骨盤の回旋、やや遅れての体幹のひねり、体幹の回旋に伴う上腕（肩関節）の回旋、続く前腕（肘）の回旋、さらに肘伸展へのブレーキによる手（手首）の加速という回旋運動から成る運動連鎖（kinetic chain）である^{11) - 13)}。リリース速度と回転速度が大きいということは、一連の運動連鎖から生み出されるエネルギーが効率的にボールに伝達されていると考えられる。リリース速度と回転速度が大きいストレーートを投げるためには、強く腕を振ること、すなわち主観的努力度を高めて投げるものが求められるが、主観的努力度の増加はリリース速度の増加とコントロールの精度低下につながることを報告されている¹⁴⁾。低めにコントロールされたボールを投げるのがピッチングの定石といわれるが、低めへのコントロールの意識が強くなりすぎると、ボールへ伝えられるエネルギーの減衰を招く可能性は否定できないと考えられる。リリース速度と回転速度が大

きいストレートは空振の確率が高く、バットに当てられても打球がフェアゾーンに到達する確率は低く、安打となる確率も低いことが期待される。そのゆえ、コントロールの精度を多少犠牲にしても、強く腕を振ってストレートを投げることを指導する必要があると考えられる。回転速度が大きいストレートについては、バットスイングの軌道はボール下側となる傾向が強いことからバットに当てられても打球はフライアウトになることが期待できるため、腕を強く振って投げて狙ったコースへ投げるコントロールの精度が身についた段階では、高めのコースへストレートを積極的に投げることを指導することが妥当であると考えられる。

リリース速度は大きい回転速度は小さいストレートを投げる投手に対しては、低めのコースへ安定的に投げるコントロールの精度とリリース速度のさらなる増加、垂直方向への変化量が大きい変化球の習得を求めることが妥当であると考えられる。回転速度が小さいストレートに対するバットスイングの軌道はボール上側となる傾向が高いため打球はゴロとなる確率が高くなるが、ゴロを打たせる確率をより高めるために、投げ込むコースを低めに限定することが必要となる。より大きなリリース速度を求めるのは、打者がボールを見極める時間をより制限して打ちにくさを増すためである。また、ツーシームやフォークボールといった水平方向よりも垂直方向への変化量が大きい（いわゆる、落ちる）変化球と組み合わせることによって、このストレートの特徴をさらに活かすことができると考えられる。

リリース速度と回転速度が小さいストレートを投げる投手に対しては、精度の高いコントロールと変化球主体の配球を求めることが妥当であると考えられる。リリース速度が小さいボールは打者には見極められやすいので、ストレートで打者を抑えることは難しいと考えられ、必然的に配球は変化球主体にならざるを得ないことになる。回転速度が小さいストレートはゴロとなる確率が高いという特徴を活かすために、投

げ込むコースを低めに限定することは必須となる。リリース速度も回転速度も小さいストレートを投げる投手の起用は消極的にならざるを得ないが、変則的な投球動作を習得することによって打ちにくさを高めることの可能性は否定できないと考えられる。

リリース速度、回転速度とも中程度のストレートは打者には見慣れた特徴のないボールといえる。このようなストレートを投げる投手に対しては、ストレート以外で何らかの特徴を引き出すような指導が必要になると考えられる。

リリース速度が小さく回転速度が大きいストレートは、本研究ではリリース速度が133.1km/h以下、回転速度が2,304.7回転/分超のストレートを意味するが、A大学所属投手が投じたボールには観測されなかった。並進運動と回旋運動から成る投球動作によって生み出されたエネルギーがボールの直進運動と回転運動に変換されると考えるならば、直進運動への変換効率は低く回転運動への変換効率は高いことを意味すると捉えられる。このようなストレートを否定する根拠はないが、リリース速度と回転速度との間には正の相関関係が認められることや¹⁰⁾、第一著者の指導経験を踏まえると、このようなストレートを投げる投手の存在の可能性は極めて低いと考えられる。そのため、本研究では、指導指針の検討対象からは除外することとした。

5.4 研究の限界と今後の課題

本研究にはいくつかの限界がある。第一の限界は、本研究で検証に用いた回転速度は推定値であり、試合で投げられたストレートを直接測定した結果ではない点である。投げ損ないにより回転速度が小さくなった場合など、回転速度の群分けが正しく行われない可能性は否定できない。第二の限界として、回転軸の方向が考慮されていない点が挙げられる。回転軸の方向によって揚力の強さは変わるため⁶⁾、回転速度の評価方法に改善の余地が残ることは否定できない。第三の限界として、リリース速度と回転速度以外の要因、例えば、ボールのロケーション

や配球、投球動作などが考慮されていない点が挙げられる。多くの打者は外角低めのストレーートは苦手にしており¹⁵⁾、球種が多いと予測が難しくなるため¹⁶⁾打ちにくさが助長される。このように、リリース速度と回転速度以外の諸要因が投球結果に与える影響は否定できない。第四の限界として、打者の技能を統制するために用いた調整変数は規定打席到達の有無と打率だけである点が挙げられる。プロ野球やアメリカの Major League Baseball と異なり、日本の大学野球では 1 シーズンの試合数は多くないため、1 打席が打率に与える影響は小さくない。バットスイングの速さなど計測可能な変数の導入が候補に挙げられるが、適正な変数の見極めは容易ではない。第五の限界として、A 大学野球部所属投手 11 人の 2017 年リーグ戦 27 試合の投球結果を対象として検証されており、結果の一般化には注意が必要である点が挙げられる。

今後の課題として、試合でのリリース速度と回転速度（回転軸の方向含む）を計測することが挙げられる。ボールのロケーションについても、測定方法や変数として取り扱い方法を含めて課題として挙げられる。また、多様な投手を対象として、サンプル数を増やすことも課題として挙げられる。

6. 結 論

本研究では、A 大学野球部所属投手 11 人の 2017 年リーグ戦 27 試合を対象に、リリース速度と回転速度がストレーートの打ちにくさに与える影響と、ストレーートの回転速度が打球の種類に与える影響を定量的に検証することを目的とした。リリース速度はリーグ戦での計測値を用いた。回転速度は、練習時の計測値に基づく回帰式を用いてリリース速度から推定値を算出したうえで、平均値±標準偏差の点で 3 分割して順序尺度化した。投球結果を目的変数、リリース速度と順位尺度化した推定回転速度を説明変数、アウトカウント数、規定打席到達の有無、打率を調整変数とするロジスティック回帰係数を行った結果、リリース速度が大きくなるほど

空振の確率が高まり、回転速度が大きい（およそ 2,300 回転/分超）と空振の確率が高まり、フェアゾーンに打ち返される、あるいは安打を打たれる確率が低く抑えられることが示唆された。また、推定回転速度と打球種類との関連の有無を χ^2 検定にて検証した結果、有意な関連が認められ、推定回転速度が小さいとゴロの比率が高くなる傾向にあり、大きいとゴロの比率が低くなる傾向にあることが示唆された。

これらの結果を踏まえ、以下のリリース速度と回転速度に基づく指導指針案が示された。すなわち、リリース速度と回転速度が大きいストレーートを投げる投手に対してはまず強く腕を振ってストレーートを投げることで、次に高めのコースへストレーートを積極的に投げることを求める；リリース速度は大きい回転速度は小さいストレーートを投げる投手に対しては低めのコースへ安定的に投げるコントロールの精度とリリース速度のさらなる増加、落ちる変化球の習得を求める；リリース速度と回転速度が小さいストレーートを投げる投手に対しては、精度の高いコントロールと変化球主体の配球を求める；リリース速度、回転速度とも中程度のストレーートを投げる投手に対してはストレーート以外の特徴を求める。

参 考 文 献

- 1) Alaways, L. W., et al. : Identification of release conditions and aerodynamic forces in pitched-baseball trajectories, *Journal of Applied Biomechanics*, Vol.17, No.1, pp.63-76, 2001.
- 2) Kida, N., et al. : Intensive baseball practice improves the Go/Nogo reaction time, but not the simple reaction time. *Cognitive Brain Research*, Vol.22, No. 2, pp.257-264, 2005.
- 3) 那須大毅. 野球の投手－打者対戦からみたバッティングの時間構造. *日本神経回路学会誌*, Vol.24, No.3, pp.132-137, 2017.
- 4) Kreighbaum, E. F. and Hunt, W. A. : Relative factors influencing pitched baseballs, In : *International Congress on Physical Activity Sci-*

- ences, Quebec City, 11-16 July 1976, pp.227-236, 1976.
- 5) Watts, R. G. and Ferrer, R. : The lateral force on a spinning sphere : aerodynamics of a curveball, *American Journal of Physics*, Vol.55, pp.40-45, 1987.
 - 6) Jinji, T. and Sakurai, S. : Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball, *Sports Biomechanics*, Vol.5, No.2, pp.197-214, 2006.
 - 7) Higuchi T., et al. : The effect of fastball backspin rate on baseball hitting accuracy, *Journal of Applied Biomechanics*, Vol.29, No.3, pp.279-284, 2013.
 - 8) Nagami T., et al. : Spin on fastballs thrown by elite baseball pitchers, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol.43, No.12, pp.2321-2327, 2011.
 - 9) 永見智行, 他 : 野球投手が投じる様々な球種の運動学的特徴, *体育学研究*, Vo.61, No.2, pp.589-605, 2016.
 - 10) 神事努, 桜井伸二 : 投球されたボールの球質はどのような動作によって決定されるのか? バイオメカニクス研究. Vol.12, No.4, pp.267-277, 2008.
 - 11) 三原研一 : バイオメカニクスと投球フォーム, *関節外科*, Vol.27, No.8, pp.32-42, 2008.
 - 12) 内田智也, 他 : 投球動作の Early cocking 期における軸足股関節の運動学・運動力学的特徴, *日本臨床スポーツ医学会誌*, Vol.25, No.1, pp.16-23, 2017.
 - 13) Hirashima, M., et al. : Kinetic chain of overarm throwing in terms of joint rotations revealed by induced acceleration analysis, *Journal of Biomechanics*, Vol.41, No.13, pp.2874-2883, 2008.
 - 14) 前田正登, 大岡昌平 : 野球の投球における主観的努力度がボールの初速度と正確さに及ぼす影響. シンポジウム : スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集2011, pp.45-50, 2011.
 - 15) 野村克也 : 野村ノート, 小学館, pp.45-46, 2009.
 - 16) 古田敦也 : フルタの方程式, 朝日新聞出版, pp.97-99, 2009.