

慣性モーメントの小さなボールの投球がボール回転数やボールの到達高さに及ぼす影響 —即時効果に着目して—

柴田 翔平¹⁾ 島名 孝次¹⁾ 中田 真之²⁾ 神事 努³⁾

Shohei Shibata¹, Takatsugu Shimana¹, Saneyuki Nakata², Tsutomu Jinji³: Effects of pitching a baseball with a small moment of inertia on the spin rate and the height reached by the baseball –Focusing on the immediate effect–

和文抄録:

通常の野球ボールと同様の質量・サイズで、慣性モーメントが小さなボール（以後、MOIボールと呼ぶ）を開発し、高校生42名のMOIボールの投球が、その後の通常の野球ボール同様の慣性特性を有するボールの投球への即時的な影響を明らかにすることを目的とした。その結果、MOIボール投球前後の回転数に即時的な向上効果は認められず、得点化したボールの到達高さも有意な差は見られなかった。球速は効果量や検出力は小さな値を示したが、有意に低下した。MOIボール投球前（以後、Preと呼ぶ）の回転数に対するMOIボール投球時の回転数比と、Pre回転数に対するMOIボール投球後の回転数比の間に有意な相関関係（ $r = 0.714$ ）が認められた。これは、MOIボール投球時に回転数増加率の高い投手は、MOIボール投球前後で回転数比が増加したと解釈でき、MOIボールによる即時効果には個人差があることが示された。

Key words: Inertial property, Pitching motion, Fingers, Rotational movement

キーワード: 慣性特性, 投球動作, 手指, 回転運動

1. 緒言

投手が投じるボールの軌道はボール速度・回転数・回転軸・リリース角度・空気密度及び粘性によって決定される (Alaways et al., 2001)。ボール軌道を決定するこれらのパラメータの中でも、ボール速度はバイオメカニクスの分野を中心に最も多くの関心を集め、研究がなされてきた (e.g. Matsuo et al., 2001; Stodden et al., 2005; Kageyama et al., 2014)。しかしながら、回転数もボール軌道に大きな影響を及ぼす要素であると言える。これま

での先行知見では、複数の研究者が直球におけるボール速度と回転数の関係を検証した (e.g. Jinji et al., 2006; Nagami et al., 2011)。Jinji et al. (2006) はボール速度と回転数には相関関係があることに加えて、ボールの回転数と投球方向及び回転軸の成す角度の内積は、ボールの揚力と相関があることを示した。また、Higuchi et al. (2013) は、通常速度と回転数の相関関係から大きく逸脱するような高い回転数かつ純粋なバックスピン（進行方向及び鉛直方向の回転軸の傾きが 0° ）で飛翔するボールは、打者がバットの芯で捉えづらいこ

1) ミズノ株式会社 グローバル研究開発部
〒559-8510 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目12番
35号 イノベーションセンター

2) ミズノ株式会社 グローバルイクイップメントプロ
ダクト部
〒559-8510 大阪府大阪市住之江区南港北1丁目12番
35号 イノベーションセンター

3) 國學院大學 人間開発学部
〒225-0003 神奈川県横浜市青葉区新石川

1. Mizuno Corporation Global Research & Development
Department

2. Mizuno Corporation Global Equipment Product
Department

3. Kokugakuin University Faculty of Human Development

とを報告している。つまり、投手がボールの回転を変化させることができれば、打者にとっては予測困難な軌道に成り得るため、投手は打者を打ち取るためにボールの回転数を変化させることが効果的であると言えるだろう。

運動の専門的なスピード・筋力をトレーニングする方法には、運動遂行時にかかる空気抵抗や体重、用具などの外的負荷を軽減させて行うものと、逆に増大させて行うものがある。前者は通常では達成が困難となるレベルでの運動遂行を実現することにより、そこでの速いスピード感やリズム、タイミングを身につけようとするもので、一般にアシスティッド・トレーニングあるいは負荷軽減法 (Assisted or Lightened training) と呼ばれる。また、後者は過負荷が与えられた状態で運動を遂行することによって、その運動に必要となる筋力要素を養成し得るとされており、レジスティッド・トレーニング (Resisted training) と呼ばれる (Zatsiorsky, 1995)。これらのトレーニング方法を野球の投球運動に適用する場合、ボール質量を軽減することにより投球に必要とされるスピード・筋力の主にスピード要素の発達が可能になると考えられ、ボール質量を増加することによって、筋力要素の改善が期待される (Escamilla et al., 2000)。投手にボール質量を増減したボールを投球させるドリルを実施し、その直後に通常の野球ボールを投球した場合に即時効果がみられるかという視点で複数の研究が行われてきた (e.g. Strub, 1968; 森本ら, 2003)。これらはいずれもボール速度を改善するためのドリルの即時効果を検証したものであるが、ボール回転数を改善するためのドリルは検討されていない。回転運動の慣性の大きさを表す指標は慣性モーメント (Moment of Inertia, 以下MOIと呼ぶ) のため、MOIを増減したボールを投球させることで、ボールの回転を生み出す手指の適切な力制御の習得や筋力要素の改善が期待されるものと予想される。一方、森本ら (2003) の報告では、通常の野球ボールに対して質量を15%及び20%に減らしたボールを用いたドリルでは、ドリル後にボールの到達高さが上方に位置する傾向にあると報告されている。ボール

の回転数の増減といったボールの回転状態の変化は、ボールの軌道に影響を与える要因の1つ (Always et al., 2001) であるため、MOIを増減したボールの投球によるボールの回転数の変化が、到達高さに影響を及ぼすことが予想される。そのため、本研究では、通常の野球ボールと同様の質量・サイズで、MOIが小さなボール (以下MOIボール) を開発し、投手が投げる代表的球種である直球を対象に、MOIボールの投球が、その後の通常の野球ボール同様の慣性特性を有するボールを投球した際の i) ボール回転数に及ぼす即時的な影響を明らかにすること ii) ボールの到達高さに及ぼす即時的な影響を明らかにすることの2つを目的とした。

Stevenson (1985) は、ボールリリースの約6 ms前にボールは母指を離れ、手指を転がると報告している。そのため、MOIボールを投球する場合、通常よりも回転がかかりやすくなるため、ボールの転がりが高速になり、リリースタイミングが早期に発生し、いわゆる‘ボールが高めに抜ける’ことが多く発生することが予想される。これをドリル中に防ぐためには、ボールの遠心力に対抗し、適切なタイミングで大きな接線力 (ボールと手指の摩擦力) を発揮するよう自身で制御する必要がある。また、Shibata et al. (2022) の研究では、ボールの回転数とリリース直前のセンサから推定された接線力に有意な正の相関関係があることを示している。これらに基づいて、我々は、MOIボールを投球することで、投球中ボールが抜けないように適切なタイミングで大きな接線力を発揮する適応を身につけられるようになると考えた。つまり、MOIボールを投球することで、投球中に適応した接線力の持続効果 (After effect) によって、MOIボールの投球前と比較し、通常の野球ボール同様の慣性特性を有するボール投球時のボール回転数が増加すると考えた。よって、仮説 I を「MOIボールを投球することで、MOIボールの投球前と比較し、直後の通常の野球ボール同様の慣性特性を有するボール投球時のボール回転数が増加する」とした。

Nasu and Kashino (2021) は球速や回転数、回

転軸といった球質データや投射角度といったリリースパラメータが、投球到達位置に及ぼす影響を調査し、投球到達位置には投射角度が最も影響を与え、回転数が最も影響が少ないことを明らかにした。そのため、MOIボールの投球直後の通常の野球ボール同様の慣性特性を有するボールによる投球の回転数が増加した場合でも、回転数の高さ方向の到達位置への影響は少ないため、直後の到達位置はMOIボールの投球前と比較して変化はないと考えられる。そこで、仮説Ⅱ「MOIボールの投球直後の通常の野球ボール同様の慣性特性を有するボールによる投球の回転数が増加した場合でも、直後の到達位置はMOIボールの投球前と比較して変化はない」とした。

2. 方法

2.1 被験者

近畿及び中国地方の高等学校6校の硬式野球部に所属する投手42名を対象とした。参加者及び指導者からは事前に同意を得た。本研究はミズノ株式会社の倫理委員会の承認を得た。

2.2 実験器具

陸上競技の投擲種目などでみられる投擲物の質量増減を利用したアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングでは、基本的な動作パターンを損なわないために、通常用いられる投擲物に対して5%から20%といったより小さな範囲で質量の増減がなされる。本研究では、量産開発

のしやすさも考慮し、通常の野球ボールのMOIに対して-25% (MOI $5.2 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$) のMOIボール (ミズノ社製) を開発した。MOIボールは通常の野球ボールと同様の質量 (0.145 kg) であり、ボール中心に鉄球を配置し、外層をウレタンで構成した (図1)。ボール表面は通常の野球ボールと同じ牛革で覆った。MOIボールの表面硬度はアスカーC硬度計で88であった (通常の野球ボール: 90)。

2.3 実験方法

実験は屋外のマウンドにて行った。十分なウォーミングアップを行った被験者に対して、はじめに通常の野球ボールと同様の慣性特性であるセンサ内蔵硬式野球ボール (MA-Q, ミズノ社製; 以下MA-Qと呼ぶ) で5球 (以下, Pre 試技), 次いでMOIボールで10球 (以下, DR 試技), 更にMA-Qで5球 (以下, Post 試技) の計20球のストレートを正規規格の投球マウンドから18.44 m先の捕手に向かって、投じるよう指示した。投球位置の狙いは、高さ0.75 mのホームベースの中央とし、捕手にその位置を構えるように指示した。MOIボールの投球数は、通常の野球ボールと異なるボールを投球した複数の先行研究を基に設定した。ボールの質量が異なる条件における森本ら (2001) の研究では5球を、Morimoto et al. (2003) の研究では6から18球を投球し、ボールの直径が異なる条件における蔭山と中本 (2019) の研究では15球を投球している。これらの研究を基に、被験者の疲労を考慮して10球を選択した。MOI

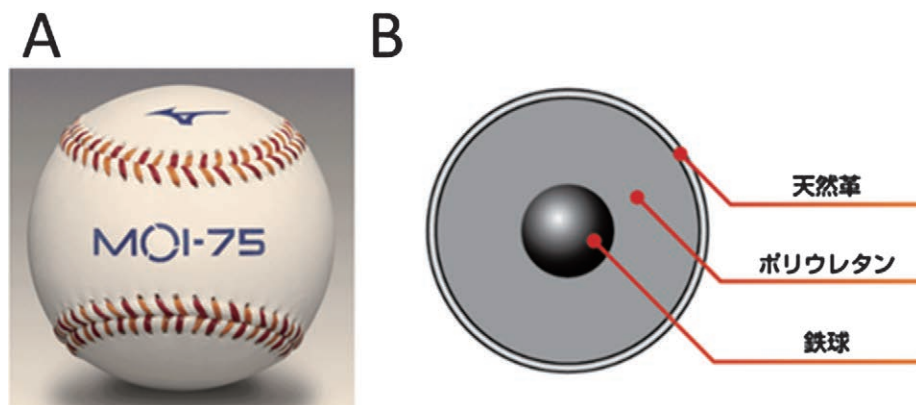


図1. MOIボールの構造

A: MOIボールの外観 B: MOIボールの内部構造

ボールの考えられる機能・効果については、実験前に“ボールの回転がかかりやすく、ドリルを通じて回転数向上を目指して設計されたボール”である旨を予め被験者に伝え、全力で投球するよう指示した。1球毎に15秒の間隔を空け、Pre試技とDR試技への移行には1分のインターバルを、DR試技とPost試技への移行には15秒のインターバルを設けた(図2)。

データ収集に関しては、トラッキングシステム(Rapsodo Pitching, Rapsodo社製; 以下Rapsodoと呼ぶ)を用いて球速(km/h)及び回転数(rpm)を計測した。Pre試技及びPost試技においては、将来的な追加研究のために、センサ内蔵ボールに搭載されている加速度データの取得・解析を想定し、MA-Qを用いた(質量0.145 kg; MOI $6.9 \times 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^2$)。

全試技において投球の到達高さを記録した。高めの判定については、地面から高さ0.5 m, 1 m及び1.5 mの位置にマーキングを施した三脚をバッターボックス付近に立て、ストライクゾーン

(0.5~1 m)であれば2点, それより低い場合(0.5 m以下)は1点, 1~1.5 mの高さに到達した場合は3点, 1.5 mより高い位置に到達した場合は4点とした(図3)。ボールを捕球した捕手の目視による判断で記録を行った。捕手は、被験者である高校生投手が所属するチームにおいて、捕手を務める学生が対応した。

2.4 データ解析

Pre試技, DR試技及びPost試技の分析データはすべてRapsodoのデータを使用した。直射日光の影響を受けた, あるいはボールが大きくストライクゾーンから外れたなどの理由でRapsodoの計測エラーが発生した試行については, 分析対象から除いた。全840球のデータの内, 計測エラーの73球を除く767球のデータを解析した。各被験者における球速, 回転数, 高さの点数(以下高さ得点)は, Pre/DR/Post試技条件それぞれの平均値を代表値とした。また試技条件が球速, 回転数に及ぼす影響を検討するため, Shapiro-Wilk検定によっ

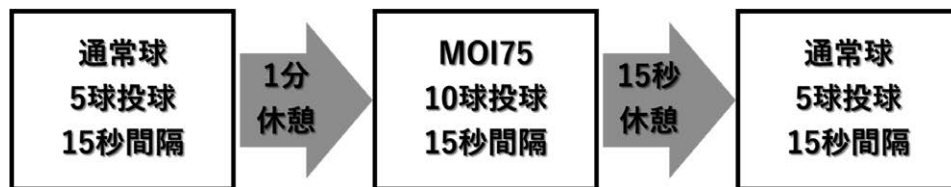


図2. 実験プロトコル

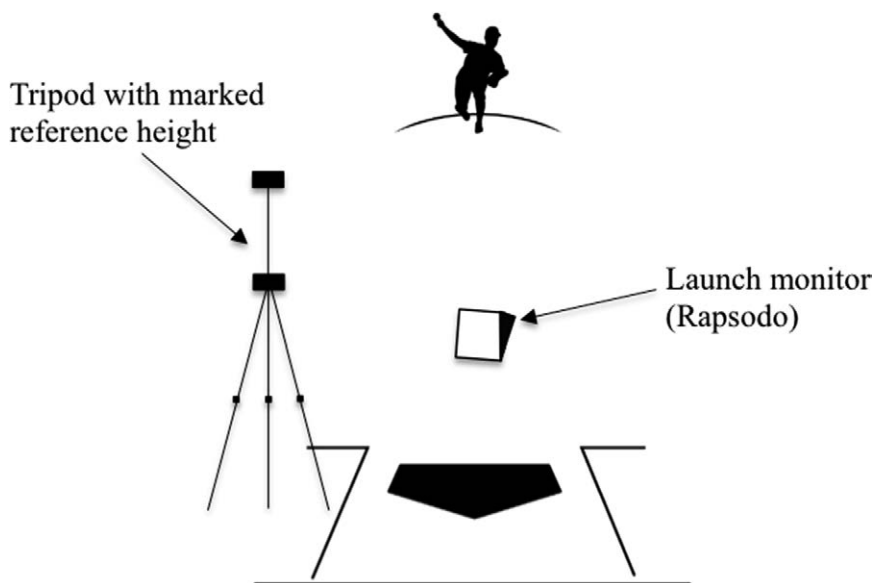


図3. 実験風景

て正規性を確認した上で、一元配置反復測定分散分析を行った。正規性が確認できない場合は、対応のある平均順位の差の検定（Friedman検定）を行うこととした。高さ得点についてはFriedman検定を行った。いずれの場合も検定が有意であった場合はBonferroni法による多重比較を行うこととした。更に多重比較で有意差が認められた場合は、効果量 r 及び検出力を算出し、その差の妥当性を検討することとした。

また、球速、回転数、高さ得点における試技条件間の変化を定量化するために、Preに対するDR及びPostの比及びDRに対するPostの比を、高さ得点についてはPreに対するDR及びPostの差分、DRに対するPostの差分を各被験者について求め、試技条件それぞれの平均値を代表値とした。

最後にMOIボールの投球が回転数に及ぼす影響と関連している要因を検討するため、回転数の

Preに対するPostの比（Post/Pre回転数比）と、各試技条件における球速、回転数や試技条件間の変化（比）パラメータとの間のPearsonの積率相関係数を求めた。同様に高さ得点や試技条件間の差分パラメータについては、Post/Pre回転数比との間のSpearmanの順位相関係数を求めた。いずれの統計処理においても危険率5%未満を有意と判定した。

3. 結果

表1に球速、回転数及び高さ得点の平均値及び標準偏差を示した。また、図4に全対象者における高さ得点の条件ごとの推移を示した。球速、回転数にはいずれも正規性が認められたため、一元配置反復測定分散分析を実施した結果、いずれも有意な差があることが認められた。このため多重

表1. 球速、回転数、高さ得点の平均値及び標準偏差

	Pre 試技	DR 試技	Post 試技
球速 (km/h)	117.8 ± 5.69	117.1 ± 5.90	116.7 ± 5.81**
回転数 (rpm)	1807.3 ± 201.58	2059.9 ± 185.35**	1808.5 ± 192.23##
高さ得点	2.1 ± 0.41	2.4 ± 0.34**	2.0 ± 0.27##

* : Pre 試技との間に有意差あり ($p < 0.05$) # : DR 試技との間に有意差あり ($p < 0.05$)

** : Pre 試技との間に有意差あり ($p < 0.01$) ## : DR 試技との間に有意差あり ($p < 0.01$)

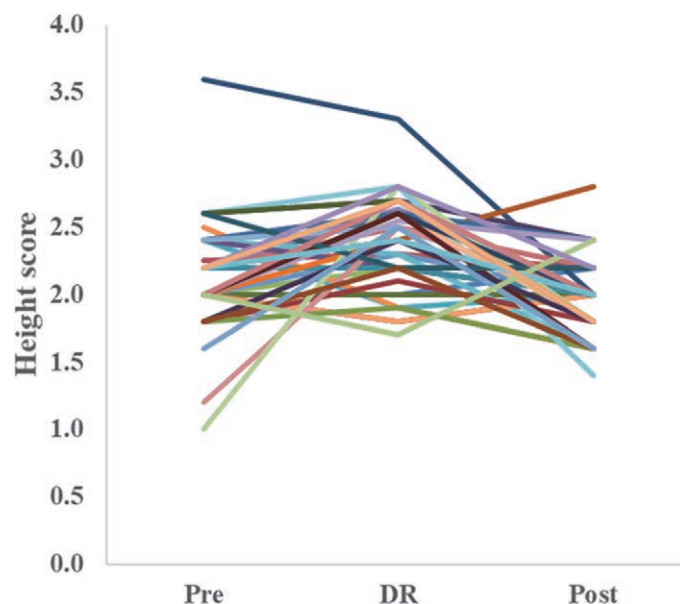


図4. 全対象者における高さ得点の推移

比較を実施した結果、球速についてはPre-Post間にのみ有意な差が認められた。そこでこの差の妥当性を検討するために効果量 r を求めたところ、球速について0.092となった。また、検出力は0.090であった。回転数についてはPre-DR試技間、DR-Post試技間にのみいずれも有意な差が認められた。回転数における効果量はPre-DR試技間で-0.551、DR-Post試技間で0.559、検出力はそれぞれ0.937、0.943であった。一方、高さ得点についてはFriedman検定の結果、有意な差があることが認められた。このため多重比較を実施した結果、Pre-DR間及びDR-Post間で有意な差が認められた。このときの効果量はPre-DR間で-0.321、DR-Post間で0.554、検出力はそれぞれ0.929、1.000であった。

表2 (A), (B) に Post/Pre 回転数比と各試技における球速、回転数や試技間の変化(比)パラメータとの間の Pearson の積率相関係数を示した。また、表2 (C) には高さ得点や試技間の変化(差)との間の Spearman の順位相関係数を示した。表2 (A) に示した通り、Post/Pre 回転数比と球速や試技間の変化との間には有意な相関関係は認められなかった。また、表2 (B) に示した通り、回転数や試技間の変化については、Post/Pre 回転数比

と DR/Pre 回転数比との間に有意な相関関係が認められた (図5; $r = 0.714, p < 0.01$)。更に表2 (C) に示した通り、高さ得点や試技間の変化については、Pre 高さ得点及び DR-Pre 高さ得点差との間に有意な相関関係が認められた。

4. 考察

4.1 MOI ボール投球前後の回転数及び球速への即時効果

本研究では、通常の野球ボールと同様の質量・サイズで、MOIが小さなボールを開発し、投手が投げる代表的球種である直球を対象に、MOI ボールの投球が、その後に MA-Q を投球した際の i) ボール回転数に及ぼす即時的な影響を明らかにすること ii) ボールの到達高さに及ぼす即時的な影響を明らかにすることの2つを目的とした。

Pre-Post間の回転数を比較すると、有意な差は認められなかった。つまり、MOI ボール投球前後の回転数への即時効果の十分な差異は認められなかった。これは、仮説 I : MOI ボールを投球することで、MOI ボールの投球前と比較し、直後の MA-Q 投球時のボール回転数が増加する、という仮説と異なる結果となった。一方、平均回転

表2. Post/Pre 回転数比と (A) 球速, (B) 回転数, 及び (C) 高さ得点関連パラメータとの相関係数

(A) Pearson の積率相関係数					
Pre 球速	TR 球速	Post 球速	DR/Pre 球速比	Post/Pre 球速比	Post/DR 球速比
-0.149 ns	-0.136 ns	-0.190 ns	0.020 ns	-0.144 ns	-0.207 ns
(B) Pearson の積率相関係数					
Pre 回転数	DR 回転数	Post 回転数	DR/Pre 回転数比	Post/Pre 回転数比	Post/DR 回転数比
-0.346 *	-0.029 ns	-0.062 ns	0.714 **	(1.000) --	-0.111 ns
(C) Spearman の順位相関係数					
Pre 高さ得点	DR 高さ得点	Post 高さ得点	DR-Pre 高さ得点差	Post-Pre 高さ得点差	Post-DR 高さ得点差
0.325 *	-0.122 ns	0.045 ns	-0.326 *	-0.139 ns	0.133 ns

** : $p < 0.01$, * : $p < 0.05$

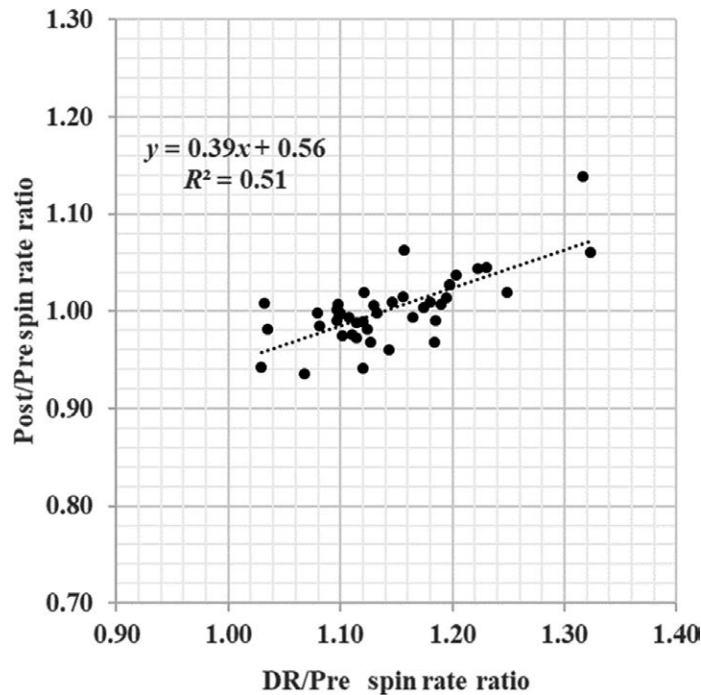


図5. DR/Pre回転数比とPost/Pre回転数比との相関関係

数はPreとDR試技間、DRとPost試技間において、いずれも有意な差が認められ、DR試技が最も大きな回転数であった。加えて、それぞれの効果量 r は -0.551 、 0.559 であり、検出力も 0.937 、 0.943 と非常に高い値が示されたことから、PreとDR試技間、DRとPost試技間の回転数の実質的な差は大きく、有意な差が正しく検出された可能性が高いことが示された。つまり、投手は我々が開発したMOIボール投球時には、MA-Qよりも高い回転数のボールを投球していた。さらに、Post/Pre回転数比とDR/Pre回転数比との間に有意な相関関係が認められた。これはMOIボール投球直前のMA-Q投球時に対して、MOIボール投球時の回転数増加率が高いほど、直後に投じたMA-Q回転数の増加率が高いことを示している。特に、MOIボール投球時に回転数増加率の高い投手は、Post/Pre回転数比が1.0より大きな値を示しており、MOIボール投球前後で回転数比が増加したと解釈でき、MOIボールによる即時効果には個人差があることがわかった。つまり、After effectによりPost/Pre回転数比が高くなった投手とPost/Pre回転数比が増加しない投手が混在したことで、全体のPre-Post間の平均回転数に十分な差異が認められなかったと考えられる。

Pre-Post間の球速を比較すると、有意な差が認められた。一方、効果量は 0.092 、検出力は 0.090 といずれも非常に低い値を示したことから、実質的な差は小さく、MOIボール投球直後の球速低下傾向の確率は極めて低いと考えられる。

4.2 MOIボール投球前後の到達高さへの影響

Pre-Post間の高さ得点に有意な差は認められなかった。これは仮説Ⅱ：MOIボールの投球直後のMA-Qによる投球の回転数が増加した場合でも、直後の到達位置はMOIボールの投球前と比較して変化はない、とする仮説と一致する結果であった。一方、本研究ではボールの高さを 0.5 m毎に得点化する手法を用いており、 0.5 mを下回るような効果を検出することはできず、ボール1個分のようなわずかな到達位置のずれの影響を見るためには追加の検証が必要である。加えて、高さ得点と試技間の変化については、Post/Pre回転数比とDR-Pre高さ得点差との間に有意な相関関係が認められた。これは、MOIボール投球時に直前のMA-Qと比較してボールが低めに到達している投手ほど、MOIボール投球直後のMA-Qによる回転数増加率が高くなることを示している。MOIボール投球時にはMA-Q投球と比較して、回

転数が高くなるため、通常よりもボールの転がり
が高速になる。そのため、MA-Qと同様に投球し
た場合、早期にボールが手指からリリースされ、
ボールが高めに到達する可能性が高い。実際、高
さ得点のPre-DR間及びDR-Post間で有意な差が認
められ、DR試技が最も大きな高さ得点であった
(表1, 図4)。これらの結果より、MOIボールに
よる回転数増加効果が見られた一部の投手の特徴
として、MOIボール投球時に、より低めにボー
ルが到達するよう手指の動作変容がなされたと推
察される。

4.3 回転運動の運動方程式による回転数の増加 要因

リリース前の野球ボールにおける回転運動の運
動方程式から現象を考察する。

$$I\dot{\omega} = \mathbf{p} \times \mathbf{F} + \mathbf{n} \quad (1)$$

ここで、 I はボールの慣性モーメント、 ω はボー
ルの角速度ベクトル、 \mathbf{p} は力の作用点の位置ベク
トル、 \mathbf{F} はボールに作用する力ベクトル、 \mathbf{n} は \mathbf{p}
に作用するトルクベクトルを表す(直球の場合、
 \mathbf{n} は小さいと仮定する)。この式から、ボールの
角加速度増加には、モーメントアームを大きくす
る、もしくはボールに作用する力 \mathbf{F} を大きくする
ことが必要になる。一方、Shibata et al. (2022) の
研究では、直球におけるボールの回転数とリリース
直前のセンサから推定された接線力に有意な正
の相関関係があることが示されており、同一球
種、同じ握りの投球動作では、(1)式の \mathbf{F} の影響
が大きいと推察される。そのため、Post/Pre回転
数比の高い投手は、MOIボール投球直後におけ
るMA-Q投球時の接線力が、MOIボール投球直前
のMA-Q投球時より大きくなった可能性が推察さ
れる。また、MOIボール投球時に直前のMA-Qと
比較してボールが低めに到達している投手ほど、
MOIボール投球直後のMA-Qによる回転数増加率
が高くなる傾向から、MOIボールによるドリル
を実施する際には、接線力を高めるために、MOI
ボールが抜けないう低めに全力で投げる意識で

10球投球することが重要である可能性がある
と考えられる。

4.4 個人差の要因

個人差が生じた要因としては、ボールの握りや
指腹部に含まれる水分量 (e.g. Adams et al., 2007;
Derler et al., 2007) が考えられる。本研究ではボー
ルの握りを統制していないため、示指と中指間距
離(手指の開き)やボールを握る深さに個人差が
生じている可能性がある。示指と中指間距離の違
いはボールと手指の接触位置が変化するため、式
(1)の作用点の位置ベクトルを変化させる可能性
があり、ボールを握る深さは、ボールが手指を回
転する距離に関わるため、ボールが母指から離
れ、リリースまでの時間に影響を及ぼす可能性が
ある。これらはいずれもリリース直前のボールの
回転運動に影響しうると考えられる。また、
Yamaguchi et al. (2020) は、野球ボールと手指の
滑り試験による摩擦係数を調査し、ロジン粉末を
塗布しない条件では、被験者間の摩擦係数のばら
つきが大きいことを示し、被験者間での指腹部に
含まれる水分量の違いによってボールと手指部の
粘着性に違いが生じ、摩擦係数のばらつきが大き
くなったと推察している。本研究では、実使用を
想定し、ロジン粉末使用の統制は行っていないた
め、手指の水分量が影響を与えた可能性がある。
また、Pre回転数とPost/Pre回転数比との間に有意
な負の相関関係 ($r = -0.346, p < 0.05$) が認められ
た。これは、直前のMA-Qの回転数が低い投手ほ
ど、MOIボール投球前後の回転数増加が大きい
ことを示している。特に、本研究では回転数が
1500 rpm以下の被験者3名は、いずれもPost/Pre
回転数比が1.02を超えていた。本研究のデータか
ら、この即時的な変化が打撃結果に与える影響度
を推察する。まず、Pre試技で1339 rpmの投手は
ドリル後に最大のPost/Pre比である1.14倍に増加
し、Post試技では1524 rpmとなった。Nagami
et al. (2016)の研究における、投手が投じたボー
ルの有効スピンパラメータと揚力の回帰式から本
研究のPre試技とPost試技の揚力をそれぞれ試算
し、運動方程式によってボール到達位置を算出す

ると、回転数 185 rpm の違いは、0.049 m の到達高さの違いと見積もられる。バットの最大直径は 0.067 m 未満であることから、73.1% の変化率となるため、回転数が低い投手による MOI ボールを利用したドリルの即時的な変化は、打撃結果に影響を与える十分な違いを生じうると考えられる。一方、130 km/h の直球の回転数と打撃の正確性を検証した Higuchi et al. (2013) の研究のように、これらの回転数の違いが実際に打者の打撃結果・打点位置にどの程度影響するかは追加検証が必要である。また、高校生を対象にした直球における Rapsodo の球速及び回転数の公開データ (Rapsodo Japan, 2023) によると、120 km/h のストレートの場合、平均 1870 rpm であると報告しており、本研究の Pre 条件が球速 117.8 ± 5.69 km/h、回転数 1807.3 ± 201.58 rpm であることも踏まえると、1500 rpm は平均と比較するとやや低い値であると判断できる。しかし、Pre 回転数と Post/Pre 回転数比の相関係数の値は低値 ($r = -0.346$) を示しており、これらの主張の妥当性を示すためには、サンプルサイズを増やし、将来的には回転軸やボールの変化量など他のパラメータへの影響を含めた追加検証が必要である。

4.5 研究の限界

本研究では、投球中のボールの運動学情報のみが取得され、身体セグメント、特に影響があると考えられる手指部のキネマティクス・キネティクスは取得・分析されなかった。より詳細なメカニズム解明や After effect の主張の妥当性確認のためには、動作解析と合わせ対照群を設定した効果検証データの取得が必要になるだろう。また、本研究は即時効果に着目した内容であるが、即時効果が得られなかった被験者は MOI ボールのドリル内の投球数が少なく、10 球では適切な力制御が十分身に着けられなかった可能性がある。今後は、長期的な期間での運動学習効果も検討していくことが将来の研究として必要であると考えられる。

5. 結論

本研究では、通常の野球ボールと同様の質量・サイズで、MOI が小さなボールを開発し、投手が投げる代表的球種である直球を対象に、高校生 42 名における MOI ボールのブルペンにおける全力投球が、その後の MA-Q 投球時の i) ボール回転数に及ぼす即時的な影響を明らかにすること ii) ボールの到達高さに及ぼす即時的な影響を明らかにすることの 2 つを目的とした。その結果、MOI ボール投球前後の回転数に即時的な向上効果は認められず、得点化したボールの到達高さも有意な差は見られなかった。また、球速は効果量や検出力は小さな値を示したが、有意に低下した。一方、Post/Pre 回転数比と DR/Pre 回転数比との間に有意な相関関係が認められた。これは、MOI ボール投球時に回転数増加率の高い投手は、MOI ボール投球前後で回転数比が増加したと解釈でき、MOI ボールによる即時効果には個人差があることが示された。

6. 利益相反

第一、第二及び第三著者が製品を販売している会社に所属しているため、公的利益と私的利益が研究者自身の中に生じる利益相反に該当する。

7. 文献

- Adams, M. J., Briscoe, B. J., and Johnson, S. A. (2007). Friction and lubrication of human skin. *Tribol. Lett.*, 26, 239-253.
- Alaways, L. W., Mish, S. P., and Hubbard, M. (2001). Identification of release conditions and aerodynamic forces in pitched-baseball trajectories: Experimental determination of baseball spin and lift. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 63-76.
- Derler, S., Schrade, U., and Gerhardt, L.-C. (2007). Tribology of human skin and mechanical skin equivalent in contact with textile. *Wear*, 263, 1112-1116.
- Escamilla, R. F., Speer, K. P., Fleisig, G. S., and

- Barrentine, S. W. (2000). Effect of throwing overweight and underweight baseballs on throwing velocity and accuracy. *Sports Medicine*, 29(4), 259-272.
- Higuchi, T., Morohoshi, J., Nagami, T., Nakata, H., and Kanosue, K. (2013). The effects of fastball backspin rate on baseball hitting accuracy. *Journal of Applied Biomechanics*, 29, 279-284.
- Jinji, T. and Sakurai, S. (2006). Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. *Sports Biomechanics*, 5(2), 197-214.
- Kageyama, M., Sugiyama, T., Takai, Y., Kanehisa, H., and Maeda, A. (2014). Kinematic and kinetic profiles of trunk and lower limbs during baseball pitching in collegiate pitchers. *Journal of Sports Science and Medicine*. 13, 742-750.
- Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., and Andrews, J. R. (2011). Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17, 1-13.
- Morimoto, Y., Ito, K., Kawamura, T., and Muraki, Y. (2003). Immediate effect of assisted and resisted training using different weight balls on ball speed and accuracy in baseball pitching. *International Journal of Sport and Health Science*, 1(2), 238-246.
- Nagami, T., Morohoshi, J., Higuchi, T., Nakata, H., Naito, S., and Kanosue, K. (2011). Spin on fastballs thrown by elite baseball pitchers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(12), 2321-2327.
- Nagami, T., Higuchi, T., Nakata, H., Yanai, T., and Kanosue, K. (2016). Relation between lift force and ball spin for different baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, 32, 196-204.
- Nasu, D. and Kashino, M. (2021). Impact of each release parameter on pitch location in baseball pitching. *Journal of Sports Sciences*, 39(10), 1186-1191.
- Shibata, S., Kaneko, Y., Shimana, T., Yamada, Y., Kase, Y., Inamo, M., Nakata, S., and Kageyama, M. (2022). Estimation of tangential finger force and its relationship with the spin rate of pitched fastball. *Sports Biomechanics*, in press.
- Stevenson, J. M. (1985). Finger release sequence for fastball and curveball pitches, *Canadian journal of applied sport sciences, Movement Science*, 10, 21-25.
- Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., and Andrews, J. R. (2005). Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity: Within pitcher variation. *Journal of Applied Biomechanics*, 21, 44-56.
- Straub, W. F. (1968). Effect of overload training procedures upon velocity and accuracy of the overarm throw. *Res Q*, 39(2), 370-379.
- Yamaguchi, T., Yamakura, N., Murata, S., Fukuda, T., and Nasu, D. (2020). Effects of rosin powder application on the frictional behavior between a finger pad and baseball. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 1-10.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). Science and practice of strength training. *Human Kinetics, Illinois*, 143-166.
- Rapsodo Japan (2023). ラプソード計測データ解説 ②「回転数」. <https://note-rapsodojp.rapsodo.com/n/n1504208c3d64> (参照日2024年8月9日).
- 蔭山 雅洋, 中本 浩揮. 大きさの異なるボールを使用した投球による短期的な適応が投球速度と正確性に及ぼす影響. (2019). *スポーツパフォーマンス研究*, 11, 46-58.
- 森本 吉謙, 村木 征人. ボール重量が野球の投球におけるスピードと正確性に及ぼす影響. (2001). *スポーツ方法学研究*, 14(1), 85-92.
- 森本 吉謙, 伊藤 浩志, 島田 一志, 川村 卓, 阿江 通良, 村木 征人. (2003). ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響とアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとしての即時効果. *コーチング学研究*, 16(1), 13-26.

(2024年3月29日受付)
(2025年1月16日受理)