

ピッチング場面の設定が直球の球速と正確性に及ぼす影響

佐野元基¹, 板谷厚²

Effects of situation settings for baseball pitchers on speed and accuracy of straight pitches

Motoki Sano¹, Atsushi Itaya²

Abstract

This study investigated the effects of pitching situation settings on straight pitches in baseball pitchers. Eight college baseball pitchers participated in this study. Participants were asked to make their throwing to a catcher as in the game. In each trial, participants were instructed to pitch a ball down on the middle as fast and accurately as possible in one of the three situation settings. Three situation settings we adopted were as follows : pitching in a count of three balls and zero strikes (3-0 condition), pitching in a count of two balls and two strikes (2-2 condition), and pitching in a situation where they need to throw the strongest ball to beat the slugger (maximum condition). In each trial, ball speed was measured by a speed radar gun and catching motion was videotaped from in front of the catcher at 30 fps. Using video analysis, distances between target (the center of the strike zone) and arrival points of the pitches were calculated as error distances, and they were used to evaluate accuracy. Statistical analysis revealed significant condition effects on both ball speed and accuracy. Ball speed was increased in the order of in 3-0, in 2-2, and in maximum. In maximum, the greatest error distance was observed and no difference was found between the error distances in the other two conditions. In other words, error distance in 3-0 was greater (or, in 2-2 was shorter) than that to be expected from speed-accuracy tradeoff. Thus, we conclude that pitching situation settings have great effects on straight pitches, and pitches in 2-2 condition are the most preferable, because of coping with both speed and accuracy.

key words: college baseball player, throwing, fast ball, ball control, Fitts' Low

1. はじめに

野球は試合で点を多く取った方が勝ちである。視点を変えれば「点を取られなければ負けない」とも捉えることができる。その観点によればもっとも重要なポジションは投手である。ストライクが入らなければ点を取られ負けてしまい、ストライクが入っても打者にとって打ち

やすい球であれば、これも失点に繋がるからである。投手が投げる多くの球種の中で、直球はもっとも軌道が直線的で狙ったところに投げやすく球速も出せる。したがって、投手の投球の基本をなすのは直球であると考えられる。球速が速く正確性に優れた直球を投げ続けることは、チームを勝利に導く可能性を高めると予想できる。投手の直球にかんする研究はいくつかある(石垣・清

1. コミュニティマネジメント株式会社 (ふらのまちづくりグループ)
〒076-0026 北海道富良野市朝日町2番1号
2. 北海道教育大学旭川校
〒070-8621 北海道旭川市北門町9丁目

著者連絡先 板谷 厚
itaya.atsushi@a.hokkyodai.ac.jp

1. Community Management Co., Ltd.
Asahi-cho 2-1, Furano-shi, Hokkaido, Japan,
076-0026
2. Department of Physical Education, Asahikawa Campus, Hokkaido University of Education
Hokumon-cho 9-chome, Asahikawa-shi, Hokkaido, Japan, 070-8621

水, 2003; 森本ほか, 2002; 森本ほか, 2012; 森本ほか, 2013). 球速についての研究では, 森本ほか (2013) が, 投手の主観的努力度を90, 92.5, 95, 97.5および100%に設定し, 高強度領域における努力度と球速との対応関係を検討した. その結果, 球速は努力度が増すにともない増大する傾向にあることを示している. 正確性にかんする研究では, 石垣・清水 (2003) が標的サイズと投球コントロールの正確性の関係について検討し, 標的サイズが小さくなると正確性が増すことを明らかにしている.

Fitts (1954) は, 正確性の要求度があまり高くない場合, 高い正確性が要求される場合よりも, 運動時間が短くなる (動きの速さが増す) 速度—正確性のトレードオフの法則を示している (Fittsの法則). 野球に限らずに投球運動における球速と正確性の関係も, Fittsの法則から検討されている (Bruce, 1998; García et al., 2010; Indermill and Husak, 1984; 前田・大岡, 2011; 森本ほか, 2002; van den Tillaar and Ettema, 2003, 2006). 投球運動における球速と正確性がFittsの法則にしたがうかどうかは, いまだ議論の余地がある. 例えば, Bruce (1998) は, ダーツ投げにおいて, 初心者と熟練者のどちらも最大努力でダーツ投げを行うと, 普段通りに投げた場合よりも正確性が低下することを示し, Fittsの法則にしたがうことを示唆している. 一方, ハンドボール選手の投球を検討した研究では, 高度に熟練した選手において球速が増加しても正確性は変化しないことを示している (García et al., 2010; van den Tillaar and Ettema, 2003, 2006).

一定の努力度を下回ると急速と正確性がともに低下することを示す研究もある (伊藤ほか, 2005; 前田・大岡, 2011; 森本ほか, 2002). 森本ほか (2002) は, 野球の投手に80, 85, 90, 95および100%の努力度で直球を投球させ, 努力度, 球速, および正確性の関係を検討した. その結果, 90%以上の努力度領域において, 球速と正確性はFittsの法則にしたがった. 一方, 85%以下の努力度では努力度の減少にともない球速および正確性がともに低下した. つまり, これ以上努力度を下げて (力を抜いて) 投球すると, Fittsの法則は破れ, 球速低下にともない正確性も低下するようになる境界 (境界努力度) が存在すると示唆されている.

ところで, 試合において投手は失点することなくその回を切り抜けるために, 点差, ランナーの有無, アウトカウント, 投球カウント, 打者の力量など, 多様な要素を含む状況に対応した投球をしなければならない. つまり, 投手の投球は試合状況に影響される. 状況に適した投球ができれば問題はない. しかし, 思い通りの投球ができるとは限らないのが現実である. 例えば, ストライクを取る必要がある場面で「置きにくい」と表現されるような投球になったり, 強打者を相手にした際, 力みが出てしまったりすると, むしろストライクが入らなくなってしまうことがある. 反対に, 全力で投げているの

に正確性を意識した時よりも狙った場所へ投げることができたり, 力を抜いているのに自分の投げた球が速く感じたりすることもある. この影響を予め知ることができれば投手のよりよい投球の手助けになると考えられる.

しかしながら, 多くの先行研究では主観的な努力度による条件設定を採用している. 実際の試合で投手は「何%で投げよう」とは考えず, 状況に応じた投球をしようとするのみである. また, 仮に「何%で投げよう」と考えたとしても, 試合場面によっては先に挙げた力みなどが自然に出て, 努力度のおりに投げられなくなることが推測される. したがって, 努力度による条件設定によって得られた知見が実際の試合での投球にも適用できるとは考えにくい.

実際の試合において, 投手が球速と正確性とを両立させて直球を投げているのはどのような場面かを知るために, 投球条件として努力度ではなく, 投手の投球が変わる特徴的な場面を設定し, 球速と正確性を調べる必要がある. 先述したように, 投手が打者と対峙する際, 試合状況によってその投球は左右される. そこで, 投手の投球が変わると考えられる典型的な状況を3つ挙げる.

1つ目は, 3ボール0ストライクのように, 打者の打力にかかわらず振ってくる可能性が低く, かつストライクを取らなければならない場面である. 相手にバントをわざとさせて, 守備シフトの工夫によりアウトにさせるなどのサインプレーの場面も当てはまる.

2つ目は, 2ボール2ストライクなど, 打者の打力にかかわらずボール球を投げることはできないが, ストライクゾーンの一点を狙わなくてはならず, かつ打たれない球でなくてはならない場面が挙げられる. つまり球速と正確性の両立が高度に求められる状況である. 見逃し三振や高めの釣り球, 打者のインコースのぎりぎりを狙う時などが当てはまる.

3つ目は, カウントにかかわらず, 相手がチームの強打者であったり, どこのコースに投げても打たれたりする時に, ストライクゾーン内において最高球速を出すことで抑えようとする場面である. 試合の流れを引き寄せるための投球や, 打者が球種を直球と分かっている時などが当てはまる.

以上の3つの場面設定におけるそれぞれの投球について球速と正確性を求めることで, 投手がどのような場面でこれらが両立するボールを投げられているか判明すると考えられる. そこで本研究は, 大学野球投手を対象として, ピッチングに影響を与える典型的な3つの試合における投球場面を想定させ, それぞれの想定のもとでの投球の球速と正確性を測定することで, 投手がより速い球をより制球よく投げられる場面を明らかにすることを目的とした.

2. 方 法

2.1. 対象者

対象者は、H大学硬式野球部（地区大学野球1部リーグ）男子部員の投手8名（身長 179.13 ± 4.02 cm, 体重 77.50 ± 8.21 kg, 投手歴 7.63 ± 3.46 年）であった。直近の公式リーグ戦における投球回数により、投球回数が多い上位4名（平均投球回数18回 $2/3$, 投球回数範囲30回 $1/3$ —8回 $0/3$ ）をレギュラー群（身長 181.75 ± 3.95 cm, 体重 82.25 ± 9.5 kg, 投手歴 9.25 ± 2.06 年）、下位4名（平均投球回数1回 $0/3$, 投球回数範囲3回 $2/3$ —投球機会無し）を準レギュラー群（身長 176.5 ± 1.91 cm, 体重 72.75 ± 2.63 kg, 投手歴 6.00 ± 4.08 年）とした。対象者は全員右投げで、横手投げの1名（下位群）を除き上手投げであった。対象者の所属チームにおいて、投手に先発、中継ぎ、および抑えのような役割分担は無かった。対応のない検定の結果、体格および投手歴の群間差に有意性は認められなかった。対象者には、実験への参加、研究へのデータ供与、およびそれらの撤回は自由であり、拒否や撤回は何ら不利益がないこと、研究成果の公表の可能性、守秘や個人情報・研究データの取り扱い等を口頭で説明し、同意を得た。

2.2. 実験設定および手順

実際の試合を想定したピッチングテストを行った。対象者はマウンドのピッチャープレートの中央に立ち、捕手に対して直球のみの投球を行った。捕手はミットとピッチャープレートの距離が19mになるように座り、ストライクゾーンの中央（ホームベースの中央から高さ約60cm）にミットを構えた。捕手の後方1mに防球ネット、さらにその後方3m、高さ1.6mにスピードガン（SR3600, Sports Rader社製）を設置した（森本ほか, 2007）（図1）。捕球時のミットの位置を記録するため、ビデオカメラ（GZ-EX370-N, JVCケンウッド社製）を投手の右1m、レンズ高60cmに設置した（図1）。なお、本研究では打者

を打席に立たせることは避けた。打者を立たせることによって、対象者が設定された投球場面をイメージしにくくなる場合も考えられたからであった。例えば、全力条件は相手チームの最強打者との対戦を想定するが、実際に打席に立つ者はそうでない。このため、打者の存在は対象者が実験条件をイメージするうえで障害となりうる。

ピッチングテストの際、次の3種のインストラクションによって投球場面を想定させた。なお、これらの設定場面について検者とすべての対象者との間に想起するイメージに齟齬がないことは、事前に確認されていた。

1つ目は打者の打力にかかわらず「3ボール0ストライクなど、打者が基本的には振ってこない可能性が高く、かつストライクを取る必要がある場面」（3-0条件）であった。

2つ目は「2ボール2ストライクなど、ボール球を投げることはできないが、ストライクゾーンの一点を狙わなくてはならない、かつ打たれない球でなくてはならない場面」（2-2条件）、すなわち、打者の打力にかかわらず球速と制球を両立させ見逃し三振を取りたい状況であった。

3つ目は、「相手が対戦チームの強打者であり、試合の流れを引き寄せるためにも力でねじ伏せることが求められる場面」（全力条件）、すなわち、カウントにかかわらず、もっとも速い直球を投げ、空振りを取ることが必要とされる状況であった。

対象者には試合当日と同じ投球準備をさせた。捕球位置を算出するための参照画像として、あらかじめ捕手に43.2cm（ホームベースの横幅）を直径とする白い的をストライクゾーンの中央に構えさせ、その映像を記録した。対象者はそれぞれの条件をランダムに口頭で提示され、状況を想定したうえで3球投球した。3球×3条件を1セットとし、これを4セット実施し、計36球を投げた。投球間隔は試合時の自己ペースとし、休憩は特に設けなかった。投球の再現性を確かめるために、8名の対象者のうちの6名（上位3名、下位3名）について、1

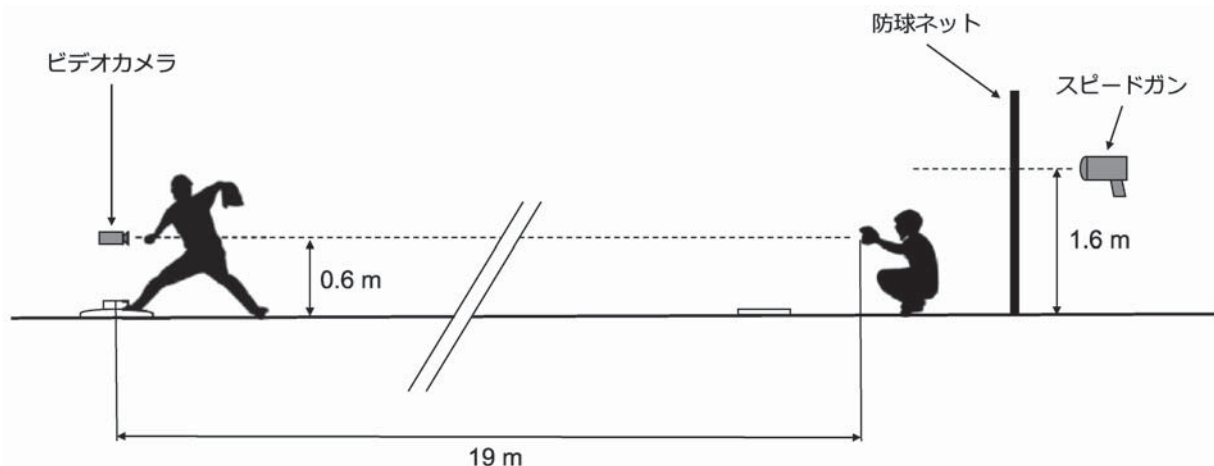


図1 実験設定（側方からの場景）

週間以内の別の日にピッチングテストを行った。設置したスピードガンにて球速を測定し、ビデオカメラにて捕手が捕球する動画を30fpsで撮影した。ピッチングテスト終了後はクールダウンをするように促した。

2.3. 測定項目およびデータ分析

球速はスピードガンで測定した値にて評価した。投球の正確性は、捕球位置とストライクゾーン中央との間の誤差で評価した。捕球位置は次の方法で測定した。まず、的を構えた捕手の静止画像をプレゼンテーション作成ソフトウェアPowerPoint2013（マイクロソフト社製）のA4スライド上に挿入した。次に、ストライクゾーン中央をマークし、投球が捕手のミットに入る瞬間を静止画像として取り出したものを重ねて挿入した。その後、マークから捕球される瞬間のボールの中心までの縦横の長さを直線描画ツールにて測定した。最後に、実際の的の大きさとスライド上に表示された的のサイズとの比から捕球位置を計算した。捕球位置は、ストライクゾーン中央を原点とし、上を正、下を負、投手から見て右を正、左を負とした座標平面上の点として記録した。

捕球位置のストライクゾーン中央との誤差の評価項目は、誤差距離 [cm]、上下誤差 [cm]、左右誤差 [cm]、上下絶対誤差 [cm]、左右絶対誤差 [cm]、上下誤差標準偏差 (上下SD) [cm]、左右誤差標準偏差 (左右SD) [cm]、および標準偏差楕円面積 (楕円面積) [cm²] とした (図2)。誤差距離、上下誤差、左右誤差、上下絶対誤差、および左右絶対誤差は、各条件12試技を平均 (上下および左右絶対誤差は座標を絶対値化した後に平均) し、それぞれの対象者の代表値とした。上下SDと左右SDは、それぞれの対象者の各条件12試技における上下および左右誤差の標準偏差で、各方向の捕球位置のちらばり程度の指標とした。楕円面積はこれらの値を長径と短径とする楕円の面積で、捕球位置のちらばり範囲の大きさの指標とした。加えて、ストライク率 [%] を求めた。ストライクゾーンは、硬式野球ボールの大きさの平均であるとされる7.39cmを43.2cmのホームベースの両端に足した58cmを一辺とする正方形とした。条件ごとに投球がストライクゾーンに入ったかどうかを評価し、入った投球の全投球に占める割合を計算した。

2.4. 統計処理

測定結果の再現性を確認するために、1日目と2日目の球速、誤差距離、上下および左右誤差について級内相関係数 (ICC) を求めた。ICCはLandis and Koch (1977) の基準 (<0.00 : Poor, 0.00—0.20 : Slight, 0.21—0.40 : Fair, 0.41—0.60 : Moderate, 0.61—0.80 : Substantial, 0.81—1.00 : Almost Perfect) により判定した。さらにそれぞれ対応のあるt検定を実施した。

これ以降の分析にはすべて1日目のデータを用いた。評価項目に対する投球場面と競技レベルの影響を分析す

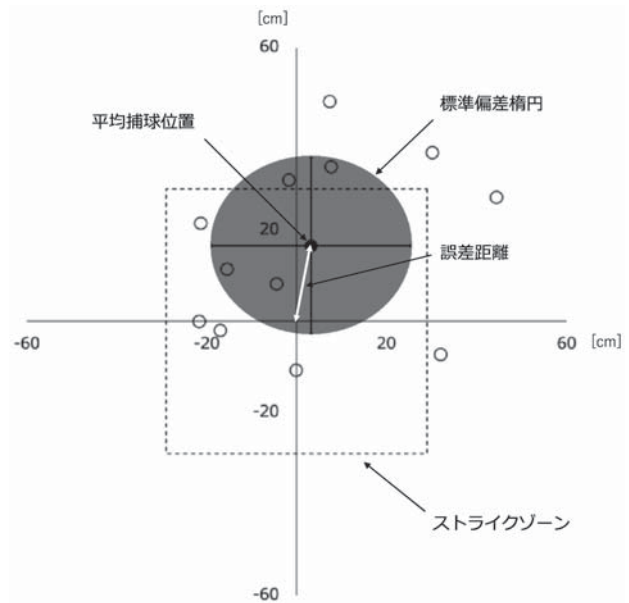


図2 正確性の測定項目

原点が標的位置 (ストライクゾーンの中央)、抜き丸印は各試技の捕球位置、黒丸印は平均捕球位置である。平均捕球位置のx座標が左右誤差、y座標が上下誤差、原点から平均捕球位置までの距離 (白線) が誤差距離、誤差線は上下および左右誤差の標準偏差 (それぞれ上下SDと左右SD)、灰色の網掛け部分は標準偏差楕円を示す。破線の正方形 (58×58cm) はストライクゾーンを示す。

るために、固定効果を条件と群、変数効果を対象者とする線形混合モデル (Linear Mixed Model : LMM) を採用した。主効果および交互作用が有意であった場合には、Bonferroniの方法による多重比較検定を実行した。有意水準は $\alpha = 0.05$ に定めた。統計処理にはSPSS Statistics version 21 (IBM社製) を用いた。結果の表記は平均値 ± 標準偏差とした。

3. 結果

球速および誤差の再現性について、結果を表1に示した。球速に極めて高いICCが認められた。一方、誤差の項目では上下誤差に比較的高いICCが認められたものの、左右誤差および誤差距離のICCは低かった。対応のあるt検定の結果、すべての項目において1日目と2日目の間の差に有意性は認められなかった。

LMMによる分析の結果 (表2)、球速、誤差距離、および上下誤差で条件の主効果に有意性が認められた。球速の速い順に、全力条件 111.3 ± 9.1 km/h、2-2条件 108.1 ± 9.0 km/h、および3-0条件 106.1 ± 9.2 km/hとなり、多重比較検定の結果、すべての条件間の差に有意性が認められた (図3左)。誤差距離は3-0条件 39.6 ± 5.1 cm、2-2条件 37.6 ± 5.0 cm、および全力条件 50.0 ± 14.5 cmとなり、2-2条件と全力条件との間の差に有意性が認められた (図3右)。上下誤差は3-0条件 11.6 ± 16.6 cm、2-2条件 9.6 ± 13.5 cm、および全力条件 27.2 ± 22.5 cmとなり、全力条件と2-2条件、3-0条件のそれぞれとの間の差に

有意性が認められた (全力 vs. 2-2, $P=0.023$; 全力 vs. 3-0, $P=0.044$).

すべての項目について, 条件×群の交互作用に有意性は認められなかった. そこで, 各条件における群間の差を検討する予備的な分析として, LMMによって群の主効果に有意性が認められた項目について, 条件ごとに対応のない t 検定を実施した. 群の主効果は, 上下SDと楕円面積において有意性が認められた. 上下SDは, レギュラー群 24.9 ± 7.0 cm, 準レギュラー群 31.8 ± 4.4 cm となり, レギュラー群で小さかった ($P=0.016$). 予備分

析の結果, すべての条件でレギュラー群と準レギュラー群との間の差に有意性は認められなかった. 楕円面積は, レギュラー群 1765.3 ± 695.4 cm², 準レギュラー群 2944.9 ± 1029.8 cm² となり, レギュラー群で小さかった ($P=0.007$). 予備分析の結果, 2-2条件でのみ群間の差に有意性が認められた ($t=3.848$, $P=0.008$; 図4).

4. 考 察

4.1. 投球の再現性

1日目と2日目の結果を比較したところ, すべての条件において球速に高い再現性が認められた. 条件として主観的努力度を採用した投手の投球において, 球速に高い再現性が確認されている (森本ほか, 2012; 森本ほか, 2013). 本研究の結果は, 主観的努力度の設定と同様に, 試合場面の想定が球速に及ぼす影響にも再現性があることを示した. 一方, 誤差の再現性について, 上下誤差ではFair—Substantialであったものの, その他の項目では全力条件の左右誤差 (Moderate) を除きPoor—Fairにとどまった. しかしながら, 対応のある t 検定の結果, 測定日間差に有意性は認められなかった. したがって, 本研究で採用した実験設定に一定の合理性があると確認できる.

表1 再現性

項目	条件	1日目	2日目	級内相関係数	t 値	p 値
球速 [km/h]	3-0	108.6 ± 7.4	108.5 ± 7.4	0.912	0.090	0.932
	2-2	110.5 ± 7.5	109.4 ± 6.6	0.901	0.826	0.446
	全力	113.7 ± 7.2	113.0 ± 6.6	0.933	0.581	0.586
誤差距離 [cm]	3-0	40.0 ± 5.9	40.4 ± 9.3	0.072	0.087	0.934
	2-2	38.0 ± 5.1	39.5 ± 9.3	0.249	0.379	0.720
	全力	53.5 ± 15.3	40.5 ± 4.2	-0.064	2.236	0.076
上下誤差 [cm]	3-0	8.4 ± 18.4	11.9 ± 16.8	0.757	0.674	0.530
	2-2	9.5 ± 15.6	8.8 ± 17.8	0.634	0.151	0.886
	全力	29.6 ± 26.0	12.1 ± 14.6	0.373	2.162	0.083
左右誤差 [cm]	3-0	3.6 ± 11.6	5.4 ± 13.9	-0.355	0.201	0.849
	2-2	6.2 ± 10.2	8.5 ± 12.0	-0.246	0.309	0.770
	全力	10.7 ± 24.6	3.8 ± 16.7	0.470	0.760	0.482

表2 LMMによる分析結果

項目	条件	レギュラー群	準レギュラー群	条件の主効果	群の主効果	条件×群の交互作用
球速 [km/h]	3-0	110.4 ± 7.5	101.7 ± 9.4	$F_{(2, 12)} = 33.518$	$F_{(1, 6)} = 3.206$	$F_{(2, 12)} = 1.797$
	2-2	113.2 ± 6.9	103 ± 8.6	$P < 0.001$	$P = 0.124$	$P = 0.208$
	全力	116.8 ± 5.6	105.8 ± 9.0	全力 > 2-2 > 3-0	—	—
誤差距離 [cm]	3-0	37.5 ± 3.6	41.8 ± 5.9	$F_{(2, 12)} = 5.091$	$F_{(1, 6)} = 0.046$	$F_{(2, 12)} = 1.288$
	2-2	34.8 ± 5.8	40.3 ± 2.4	$P = 0.025$	$P = 0.837$	$P = 0.311$
	全力	53.4 ± 17.9	46.7 ± 11.8	2-2 < 全力	—	—
上下誤差 [cm]	3-0	21.7 ± 4.6	1.4 ± 18.7	$F_{(2, 12)} = 6.163$	$F_{(1, 6)} = 5.922$	$F_{(2, 12)} = 0.160$
	2-2	18.7 ± 3.3	0.6 ± 13.9	$P = 0.014$	$P = 0.051$	$P = 0.854$
	全力	39.3 ± 22.5	15.1 ± 16.8	3-0, 2-2 < 全力	—	—
左右誤差 [cm]	3-0	6.9 ± 11.1	3.4 ± 12.7	$F_{(2, 12)} = 0.141$	$F_{(1, 6)} = 1.290$	$F_{(2, 12)} = 0.355$
	2-2	14.6 ± 8.4	-0.1 ± 7.4	$P = 0.870$	$P = 0.299$	$P = 0.708$
	全力	12.5 ± 11.7	4.9 ± 29.5	—	—	—
上下絶対誤差 [cm]	3-0	27.8 ± 5.2	28.2 ± 2.2	$F_{(2, 12)} = 3.257$	$F_{(1, 6)} = 0.356$	$F_{(2, 12)} = 1.672$
	2-2	24.2 ± 6.3	28.1 ± 6.8	$P = 0.074$	$P = 0.572$	$P = 0.229$
	全力	43.7 ± 18.9	31.1 ± 12.1	—	—	—
左右絶対誤差 [cm]	3-0	19.6 ± 3.2	25.9 ± 7.7	$F_{(2, 12)} = 0.815$	$F_{(1, 6)} = 3.512$	$F_{(2, 12)} = 0.097$
	2-2	20.2 ± 2.4	23.6 ± 7.4	$P = 0.458$	$P = 0.077$	$P = 0.908$
	全力	23.2 ± 7.6	28.4 ± 7.9	—	—	—
上下SD [cm]	3-0	24.2 ± 6.3	30.0 ± 4.3	$F_{(2, 12)} = 0.225$	$F_{(1, 6)} = 7.041$	$F_{(2, 12)} = 0.056$
	2-2	24.7 ± 7.0	32.6 ± 5.4	$P = 0.800$	$P = 0.016$	$P = 0.946$
	全力	25.7 ± 9.3	32.6 ± 4.1	—	レ < 準*	—
左右SD [cm]	3-0	23.4 ± 3.9	31.3 ± 11.9	$F_{(2, 12)} = 0.669$	$F_{(1, 6)} = 4.493$	$F_{(2, 12)} = 0.480$
	2-2	18.3 ± 3.9	28.6 ± 8.7	$P = 0.516$	$P = 0.078$	$P = 0.630$
	全力	26.0 ± 6.5	28.9 ± 8.8	—	—	—
楕円面積 [cm ²]	3-0	1750 ± 492	3040 ± 1590	$F_{(2, 12)} = 0.394$	$F_{(1, 6)} = 9.396$	$F_{(2, 12)} = 0.163$
	2-2	1440 ± 603	2820 ± 386	$P = 0.680$	$P = 0.007$	$P = 0.851$
	全力	2110 ± 934	2980 ± 1080	—	レ < 準*	—
ストライク率 [%]	3-0	39.6 ± 15.8	31.3 ± 8.0	$F_{(2, 12)} = 3.619$	$F_{(1, 6)} = 0.632$	$F_{(2, 12)} = 0.581$
	2-2	47.9 ± 8.0	37.5 ± 4.8	$P = 0.059$	$P = 0.475$	$P = 0.574$
	全力	25.0 ± 20.4	27.1 ± 19.7	—	—	—

*: レはレギュラー群, 準は準レギュラー群を示す.

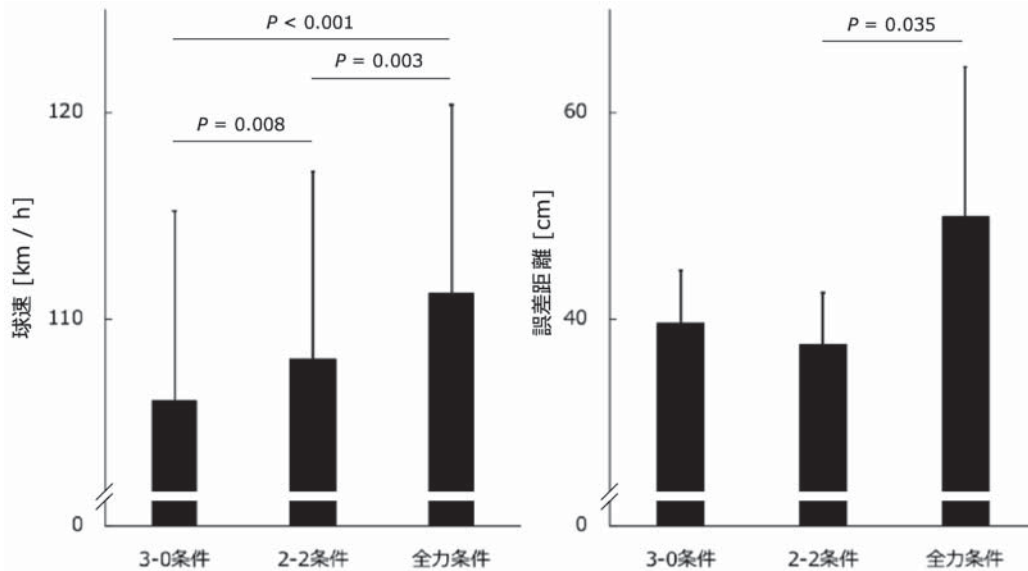


図3 球速と誤差距離の条件間比較
左図は球速，右図は誤差距離の結果を示す。

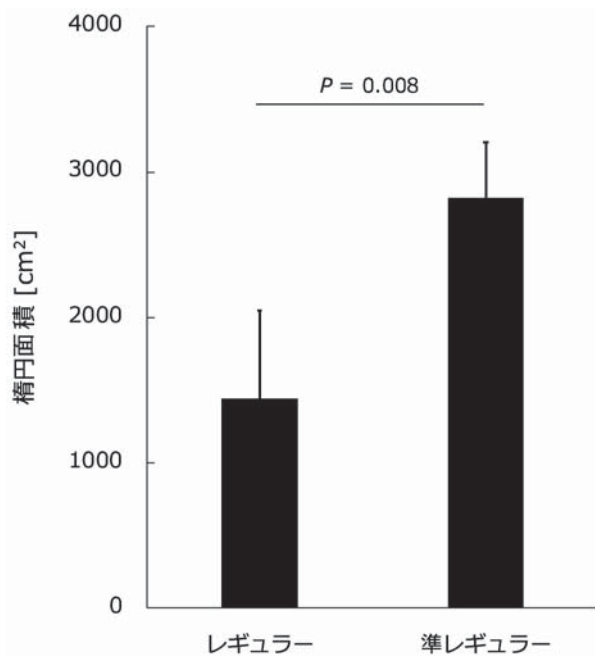


図4 2-2条件における楕円面積の群間比較
図中の有意確率は予備分析の結果にもとづく。

4.2. 条件間の比較

4.2.1. 球速

LMMによる分析の結果，球速において条件の主効果に有意性が認められた。またすべての条件間の差に有意性が認められ，球速は3-0条件<2-2条件<全力条件となった。森本ほか（2013）は投球運動における高強度領域の努力度に90，92.5，95，97.5および100%の5段階を設けて投手に投球させ，努力度が球速に及ぼす影響を調べた。その結果，球速は努力度が増すにしたがい増大する傾向にあり，隣接する努力度間を除くすべての努力度間の差に有意性が認められたことを報告している。本研究においても，条件間の球速の差の背景には努力度の違い

があると考えられる。すなわち，全力条件のように速い球速が求められる場面では，投手は意図せず力が入り，3-0条件のように打者が振ってこない可能性が高い場面では意図せず力が抜けると推測できる。

ここで，森本ほか（2013）の1日目の努力度ごとの球速の平均値および標準偏差と各対象者の努力度100%での球速を基準に，各努力度での球速を百分率に換算した相対値を示した（表3.1）。また，本研究での全力条件での球速を基準に，各条件での球速を百分率に換算した相対値を示した（表3.2）。これらと比較すると，本研究の対象者は，全力条件を100%とした場合に，個人差はあるものの2-2条件で90-92.5%，3-0条件で90%以下程度の努力度で投げていると推測される。さらに，球速の各条件での相対値の平均は約5%の範囲で変動している。したがって，投手は試合状況に応じて繊細な出力

表3.1 森本ほか（2013）による各努力度での球速の相対値

	90%	92.5%	95%	97.5%	100%
平均値 [km/h]	118.4	118.8	119.7	120.2	121.7
相対値 [%]	97.34	97.63	98.52	98.82	100.00

表3.2 本研究における各条件での球速と全力条件との相対値

対象者	全力条件	3-0条件	3-0条件	2-2条件	2-2条件
	球速 [km/h]	球速 [km/h]	相対値 [%]	球速 [km/h]	相対値 [%]
A	125.1±1.2	121.6±1.3	97.2	123.5±1.9	98.7
B	113.7±2.4	107.3±2.9	94.4	109.7±2.0	96.5
C	112.9±2.5	107.3±2.6	95.1	110.2±2.9	97.6
D	115.6±3.0	105.3±2.9	91.1	109.6±2.3	94.8
E	94.7±2.2	89.6±4.4	94.6	92.2±1.9	97.4
F	103.3±1.7	101.6±1.9	98.3	102.2±2.0	98.9
G	109.5±2.4	103.3±2.4	94.3	104.6±2.2	95.5
H	115.7±1.9	112.6±1.4	97.3	113.0±2.2	97.7
平均	111.3±9.1	106.1±9.2	95.3±2.3	108.1±9.0	97.1±1.4

調節をしているとわかる。

4.2.2 誤差距離

誤差距離においては条件の主効果に有意性が認められ、多重比較検定の結果、誤差は3-0条件≒2-2条件<全力条件となった。ストライク率においても2-2条件は3-0条件よりも優秀であった。石垣・清水（2003）は標的サイズと投球コントロールの正確性について、標的サイズが小さくなると投球の正確性が増すことを示している。本研究も同様に、（2-2条件のように）コースのねらいをより限定し投球することでもっとも制球がよくなると考えられる。3-0条件の方が2-2条件より正確性が低かった理由として、2-2条件では小さい標的サイズであるミットを狙う一方、3-0条件ではミット目がけて投げてはいるものの、ストライクが入ればよい状況でもあるため、意図せず標的サイズをストライクゾーン全体にまで広げてしまうからだと考えられる（図5）。全力条件も同様に、最大の力を込めて投げることを優先する反面、3-0条件と同じくストライクが入ればよい状況でもあるので意図せず標的サイズを広げてしまい（図5）、制球が悪くなったと考えられる。

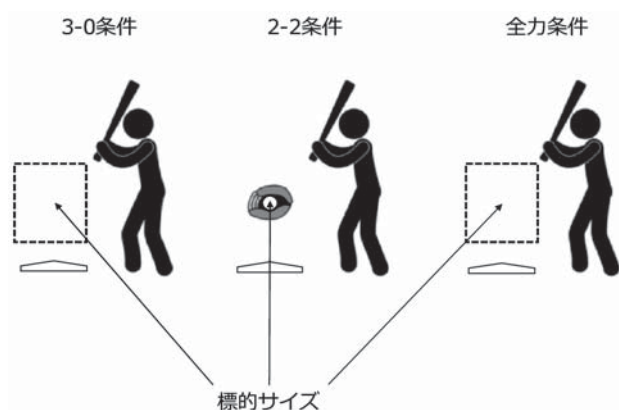


図5 各条件の対象者が想定したと予想される標的サイズ

4.2.3. 上下誤差

上下誤差について、条件の主効果に有意性が認められた。多重比較検定の結果、3-0条件、2-2条件のそれぞれと全力条件間の差に有意性が認められ、全力条件では3-0条件、2-2条件でよりも高めにずれる傾向が強かった。喜久田・松下（2010）は、制球が高めにずれる原因として「力みのテイクバック」を挙げている。リリース以前のテイクバック時に力みが生じると、肘が上がらない、または背中方向に入りすぎるなどの動きの変化が生じ、上体の回転開始のタイミングが早まり、リリース自体のタイミングも早くなると指摘している。全力条件において、投手はより速いボールを投げようとテイクバック時に力み、リリースのタイミングが速くなり捕球位置が高めにずれたと考えられる。制球が高めに浮くと打者によって打ちやすくなることも予想される。全力条件のよ

うな試合場面では、意識して力まないようにする必要があるかもしれない。

4.2.4. 球速と正確性の関係

本研究の結果、球速がもっとも速い全力条件で誤差距離はもっとも大きかった。最大に近い出力での到達運動ではかえって到達位置の変動（ちらばり）が小さくなったとの報告がある（Schmidt and Sherwood, 1982；Sherwood and Schmidt, 1980）。投球運動では、ハンドボール熟練選手の上手投げでは球速の高低にかかわらず誤差が一定だとする報告もある（García et al., 2010；van den Tillaar and Ettema, 2003, 2006）。一方、ダーツ投げにおいて、最大出力で投げると誤差が大きくなるとの報告もある（Bruce, 1998）。本研究の場合、もっとも高出力だと考えられる全力条件で誤差はもっとも大きくなった。ダーツ投げと同様に、本研究の全力条件における投球でさえ到達位置変動の減少を引き起こすほどの出力に達しておらず、誤差は小さくならないと考えられる（Bruce, 1998）。

Fittsの法則によれば、もっとも球速が低い3-0条件で誤差距離はもっとも小さくなるはずである。しかし、誤差距離はより球速が速い2-2条件と同等か、むしろ3-0条件の方が大きい傾向にあった。つまり、2-2条件と3-0条件の球速と正確性の関係はFittsの法則にしたがわなかった。これについて、以下の3つの理由によって説明を試みる。

第一の理由は、2-2条件での努力度が高いパフォーマンスを引き出しやすい範囲にあることである。いくつかの研究は、最大下努力度において、最大努力と同等か、ときにそれ以上のパフォーマンスが発揮されると報告している（伊藤ほか, 2001；伊藤ほか, 2005；金子ほか, 1999；金子ほか, 2007）。努力度90%では最大努力での動きが維持され、ほぼ同等のスピードや筋出力を達成できる（伊藤・村木, 2005）。表3.1と表3.2より、2-2条件での努力度は約90%と推定できる。したがって、2-2条件における投球が、全力条件と同等の動き、スピード、および筋出力によってなされていると推察される。さらに最大下努力度で最大努力でのパフォーマンスを上回る試技が認められることがいくつかの研究で報告されている（金子ほか, 1999；金子ほか, 2007；村木・稲福, 1996；村木ほか, 1999）。努力度を落とすことによる心理的な余裕が、リラックスと最適な筋間の調整を生み出し、最高のパフォーマンスを達成しようとする示唆されている（村木, 1994）。本研究の結果、2-2条件での球速は全力条件でのそれよりも遅かったが、正確性はより高かった。2-2条件では、全力条件の努力度の90%程度になることで力みがなくなり、比較的速い球速を維持しつつ正確性も高くなった可能性がある。

第二の理由は、前述した3-0条件の際に生じたと考えられる投球場面に応じた標的サイズの広がり、Fitts

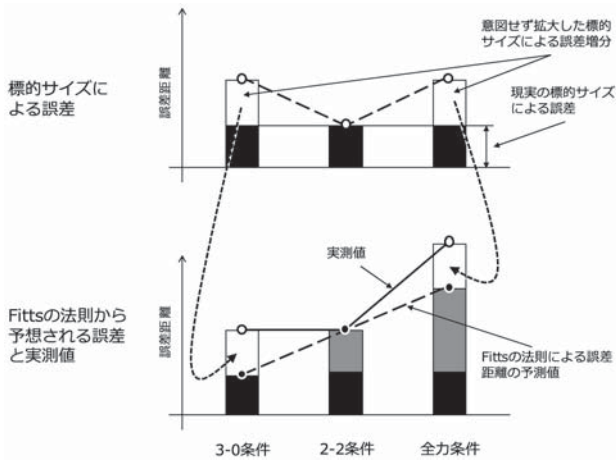


図6 誤差の予測値と実測値
測定された誤差は、Fittsの法則による誤差の予測値に意図せず拡大した標的サイズによる誤差の増分が加わったものと考えられる。

の法則にしたがう誤差の縮小の二つの効果が互いに打ち消し合うことである。全力条件においても、標的サイズの広がりやFittsの法則による球速と正確性のトレードオフの関係による誤差の拡大が重畳し、他の2条件より正確性が大きく劣ったと考えることができる(図6)。

第三の理由は、低い努力度や球速によってかえって正確性が低下することである。森本ほか(2002)は、85%以下の努力度において、努力度の減少に伴い球速と正確性がともに低下したことを示し、Fittsの法則が破れる境界努力度の存在を示唆している。伊藤ほか(2005)もこれと同様に、野球選手(投手が含まれているかどうかは不明)において最高球速の65%の投球よりも75%の投球で正確性が高かったと報告している。表3.1と表3.2を比較すると、3-0条件の相対値の平均(95.3%)は、森本ほか(2013)の努力度90%時の球速相対値(97.3%)

よりも小さかった。このことから、3-0条件では努力度が85%を下回っていた可能性がある。したがって、3-0条件では境界努力度に至ったため、Fittsの法則による予測から乖離したとも考えられる。

4.3. 競技レベルによる違い

LMMによる分析の結果、群の主効果に有意性が認められた項目は、上下SDと楕円面積であった。どちらの項目においても、レギュラー群の方が準レギュラー群よりも小さい値を示した。これらは捕球位置のちらばりの大きさを評価する。このことから、(特に、上下の)制球のバラツキが投手の競技レベルを分けていると考えられる(図7)。石垣・清水(2003)は、標的サイズが小さいほど投球の正確性は増すが、小さすぎるとかえって正確性は低下すると報告している。準レギュラー群はレギュラー群と比べて狙いの精密さを欠き、標的サイズが不適切に大きくなっていると推察される。あるいは反対に、準レギュラー群は、正確に投球しようとする際、過度の照準により標的サイズを小さくしすぎてしまう可能性もある。さらに、制球のバラツキが大きくなる原因として、投球フォームが安定せず、リリースの位置およびタイミングがばらついていることが考えられる。

予備分析の結果、2-2条件における楕円面積でレギュラー群の方が準レギュラー群と比べ小さかった。このことから、レギュラー群と準レギュラー群との間の競技レベルの差は、2-2条件での正確性に顕在化することが示唆される。2-2条件は、制球のずれが許されない場面である。2ボール2ストライクのカウントだけでなく、得点圏にランナーがいたりする緊迫した場面でも投手は似た心境に陥ると予想される。つまり、緊迫した場面で制球よくボールを集められるかどうか、レギュラーと準

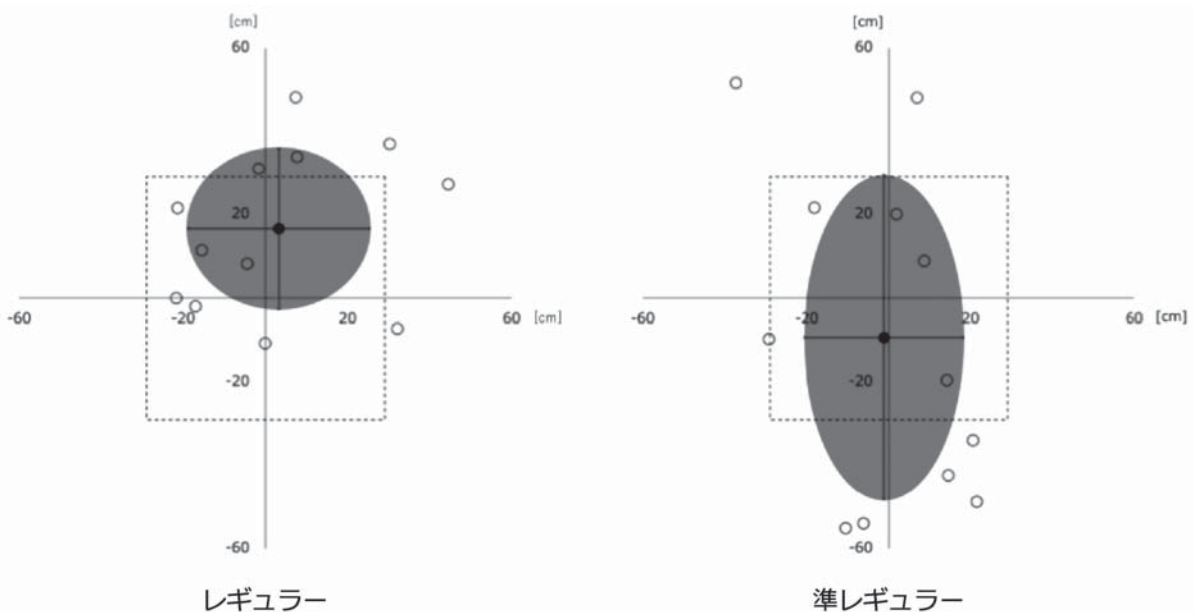


図7 2-2条件における捕球位置の群間比較
左はレギュラー群、右は準レギュラー群の代表例を示す。

レギュラーを分けていると考えられる。

4. 4. 指導現場への示唆

本研究で得られた結果の指導現場への応用として、3ボール0ストライクのような場面で、そのまま四球を出してしまう選手に対して、2-2条件のように捕手のミット中央に狙いを定め、そこからずらさないように投げろ、と助言するのは有効であると予測できる。3-0条件のような投球は、サインプレーなどの場面や意図的にストライクゾーンを外す投球の際、正確性がほぼ2-2条件と変わらず、かつ体力を消費しないで投げられるので有用である。直球ではコースをついても通用しない打者が相手の際、全力条件のような投球をすることで、正確性は落ちても球速を速め、抑えられる可能性は高まると考えられる。

レギュラー群と準レギュラー群の比較から、レギュラーになるためには球速が速ければ制球は悪くてもよい、ではなく、狙った場所にできるだけ速い直球を投げる能力が求められる。したがって、投球練習の時から捕手のミットにピンポイントで投げるように指導することは有用である。さらに、その標的サイズをより小さくする練習として、ミットの捕球面の一部分に色を塗るなど、より小さいものを標的とさせることも効果的かもしれない。

4. 5. 結論と研究の限界、および今後の課題

本研究によって、投手が直球を投球する際、投球場面によって球速と正確性は変化することが示された。球速が速く、かつ制球のよい球を質の高い直球だとすると、条件間の比較から、球速が低い3-0条件、球速は速いが正確性は低い全力条件より、球速は比較的速く、正確性も高い2-2条件で投げられた球がもっとも質の高い直球となる。また、2-2条件のような厳しい状況での正確性がレギュラーと準レギュラーを分けると考えられる。ただし、本研究は、地区大学野球1部リーグに所属する同一チームの投手を対象とした。したがって、本研究で得られた結果を一般化できる範囲は、この競技レベルに限られる。加えて、本研究で得られた試合場面の想定による投手の投球の違いは、チーム方針によって生じた可能性を否定できない。

試合での投球場面の実際は、打者・走者の存在や変化球の使用など本研究の実験設定よりもはるかに複雑である。例えば、右腕投手の場合、右バッターボックスに打者が立つと「打者に当ててはいけない」との意識が働き、投球分布が投手側から見て左下方向にずれることが知られている(土屋・小田, 2006)。これを考慮すると、本研究の全力条件において観察された上方向への投球のずれは、打者がいることで改善する可能性がある。また、本研究は直球だけの検討にとどまったが、変化球やいくつかの球種を交えた場合についても検討する必要がある。

ある。今後、これらの状況をモデル化した実験や実際の試合での投球場面ごとの球速と正確性の分析が求められる。

謝 辞

実験対象者を引き受けてくださった北海道教育大学旭川校野球部投手陣のみなさま、スコアブックの集計をくださった同大学野球部マネージャーをはじめ、実験を手伝ってくださった後輩諸氏に、記して感謝申し上げます。

文 献

- Bruce, R. E. (1998) Accuracy characteristics of throwing as a result of maximum force effort. *Perceptual and Motor Skills*, 86 (3_suppl), 1211-1217.
- Fitts, P. M. (1954) The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 67, 103-112.
- García, J. A., Sabido, R., Barbado, D., and Moreno, F. J. (2013) Analysis of the relation between throwing speed and throwing accuracy in team-handball according to instruction. *European Journal of Sport Science*, 13 (2), 149-154.
- Indermill, C. and Husak, W. (1984) Relationship between speed and accuracy in an over-arm throw. *Perceptual and Motor Skills*, 59 (1), 219-222.
- 石垣尚男・清水陽介 (2003) 標的サイズと投球コントロールの正確性, 愛知工業大学研究報告, 38B, 213-217.
- 伊藤浩志・村木征人・金子元彦 (2001) スプリント走加速局面における主観的努力度の変化がパフォーマンスに及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 14, 65-76.
- 伊藤浩志・村木征人 (2005) スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度, ピッチ・ストライド, 下肢動作に及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 18, 61-73.
- 伊藤慎哉・来田宣幸・小田伸午 (2005) 投運動における球速と正確性の関係. *体力科学*, 54 (6), 586.
- 金子元彦・村木征人・伊藤浩志・成 万祥 (1999) 打撃動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係. *スポーツ方法学研究*, 12, 25-32.
- 金子元彦・村木征人・伊藤浩志・古川 覚 (2007) 異なる二種類の打動作における主観的努力度と客観的達成度の対応関係: 中級から初級レベルのパドミントン・プレーヤーの場合. *スポーツ方法学研究*, 12,

- 25-32.
- 喜久田雄紀・松下雅雄 (2010) 中学野球の投球指導におけるワンポイントアドバイスの効果—高低のコントロールが定まらない原因となる「力みのテイクバック」と「潰れた投球フォーム」の改善事例—。スポーツパフォーマンス研究, 2, 121-130.
- Landis J. R., and Koch G. G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33 (1) : 159-74.
- 前田正登・大岡昌平 (2011) 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。日本機械学会シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス2011講演論文集, 11-17.
- 村木征人 (1994) スポーツトレーニング理論。ブックハウスHD, 東京, pp. 157-158.
- 村木征人・稲福純史 (1996) 跳躍運動における主観的強度 (努力度) と客観的出力との対応関係。スポーツ方法学研究, 9, 73-79.
- 村木征人・伊藤浩志・半田佳之・金子元彦・成 万祥 (1999) 高強度領域での主観的努力度の変化がスプリント・パフォーマンスに与える影響。スポーツ方法学研究, 12, 59-67.
- 森本吉謙・伊藤浩志・川村 卓・村木征人 (2002) 野球の投球運動における主観的努力度とパフォーマンスの対応関係。日本体育学会第53回予稿集, 480.
- 森本吉謙・伊藤浩志・川村 卓・奈良隆章 (2013) 投球運動における高強度領域での主観的努力度の変化がボールスピードに及ぼす影響とその再現性。コーチング学研究, 27 (2), 195-202.
- 森本吉謙・川村 卓・入澤裕樹 (2012) 投球運動における主観的努力度の変化がボールスピードに及ぼす影響とその再現性。トレーニング科学, 24 (3), 253-260.
- 森本吉謙・宮西智久・川口鉄二 (2007) スピードガン計測におけるボールスピードの信頼性。仙台大学紀要, 38 (2), 10-15.
- Schmidt, R. A., and Sherwood, D. E. (1982) An inverted-U relation between spatial error and force requirements in rapid limb movements : further evidence for the impulse-variability model. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 8 (1), 158-170.
- Sherwood, D. E., and Schmidt, R. A. (1980) The relationship between force and force variability in minimal and near-maximal static and dynamic contraction. *Journal of Motor Behavior*, 12, 75-89.
- 土屋真司・小田伸牛 (2006) 野球の投手の投球はどのような分布になるのか? 京都体育学研究, 22, 15-22.
- van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2003) Influence of Instruction on Velocity and Accuracy of Overarm Throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 96 (2), 423-434.
- van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2006) A comparison between novices and experts of the velocity-accuracy trade-off in overarm throwing. *Perceptual and Motor Skills*, 103 (2), 503-514.

〔平成30年5月14日 受付〕
〔平成30年7月30日 受理〕