

野球の投手の投球はどのような分布になるのか？

土屋 真司、小田 伸午

How does the throw of baseball pitchers distribute?

Shinji TSUCHIYA and Shingo ODA

Abstract

There has been no research examining the throw distribution of baseball pitchers. We investigated the throw distributions when a batter was absent and when the standing positions of batters were changed. Subjects were four baseball pitchers. All subjects were right-handed and pitched overhand from the mound to the target. Subjects threw under four conditions, 1) Control (C) ; a batter was absent, 2) Right Near (RN) ; a right batter stood near to the target, 3) Right Far (RF) ; a right batter stood far from the target, 4) Left (L) ; a left batter stood. The throw distribution was evaluated by the shape of the ellipse of constant distance and coordinates at the throw position. Under condition C, the throw distributions of all subjects were ellipses and their major axes were inclined clockwise (from the pitchers view). These results suggest that the clockwise inclination of the throw distributions were due to the orbits of the right arms' movements of the pitchers. In the condition RN, three subjects threw a ball lower compared to the other conditions and the upper right part of their ellipses which was observed under the other conditions was absent. The results in the condition RN might be due to the psychological conditions of the pitchers that they avoid hitting a batter by a pitch. It is considered that these results would be useful for baseball coaching.

I. 緒 言

横浜ベイスターズのクルーン投手が昨年日本最高球速を記録したことで一躍脚光を浴びたように、投球速度は投手の魅力の一つである。しかし、一方で「投手はコントロールだ」とも言われる。現に投球速度はそれほどでもないが、抜群のコントロールを武器にプロ野球の第一線で活躍する選手も数多くいる。投球速度も投手にとって重要だが、コントロール、つまり狙った所に正確に投球することも投球速度と同じ位重要な要素である。

ある目標に対して球やダーツを投球する、いわゆる

「的当て」の研究で、的への的中率や、的・平均位置からの距離を計測し、投球の正確性を調べた研究は多くある。中でも、「速さ－正確さトレードオフ関係 (speed-accuracy trade-off)」について調べた研究は数多く報告されている^{1,2,3,5,7,8)}。投球の正確性について調べることは重要である。

しかし、野球の現場においては投球がどの位置にずれるのかも重要事項である。例えば、右打者の外角ストライクゾーンギリギリを目掛けて投球し、同じ 10cm 目標からずれるのでも、投手から見て左側ならボールだが、右側ならストライクとなり、意味合いが変わる。このように投球について調べるにあたり、目標に対し

てどのように、どの位置にずれるのか、どのような方向性を持ってばらつくのか、つまり投球分布を知ることが重要である。しかしながら、投球分布について調べた研究は今までに見られない。

バトミントンのスマッシュの正確性と筋活動との関係を調べた Sakurai と Ohtsuki の研究 (2000) では、確率距離 (マハラノビス距離) を用い、等確率楕円を描き、その面積をスマッシュの正確性の指標とした^{4,6)}。その研究では等確率楕円の形状、つまり投球分布への言及はなかったが、投球の正確性・ばらつき方を評価する際の新たな見方を提供した。では一体、投球はどのようにばらつくのだろうか。平均位置からどの方向にも等確率でばらつくなら、投球分布は全投球の平均位置を中心とした円形になる。平均位置から特定方向に高い確率でばらつくなら、投球分布は全投球の平均位置を中心とした楕円形になると考えられる。

投球の分布には、打者の有無、打者の立つ位置によって変化することが予想される。投げる目標の場所は同じでも右打者・左打者が立つ時では投球に臨む心理状態は異なると予想される。そして心理状態の違いは投球分布に変化をもたらすと予想される。例えば、内角球を投球する際、投手は「打者に当ててはいけない」という意識が働くことで打者と反対の方向寄りに投球が分布するかもしれない。

本研究では4人の野球投手の投球事例を研究対象に、①打者がいない時に、投球の到達位置がどのような二次元空間位置でばらつき、分布するのか、②打者の有無、打者の立つ位置 (的からの距離、右打者・左打者) により投球分布がどのように変化するのか、を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

体育会硬式野球部 (関西学生野球連盟) 所属の男子学生4名 B.K.、K.T.、T.S.、Y.M. (年齢 20.3 ± 1.0 歳、身長 181.4 ± 6.0 cm、体重 73.4 ± 3.5 kg) を被験者とした。各被験者の、年齢、身長、体重、野球経験年数、投手経験年数、実験前までの公式戦投球イニング、実験直前のリーグ戦での投球イニング数を表1で示した。また被験者は全員右投げのオーバースローの投手であった。

2. 実験設備

被験者は、規定通りのマウンド (ホームベースまで 18.44m) からホームベース後方 60cm に設置したネット (2.2m×2.2m) に投球した。また白の紐で、投手からみてホームベースの右端のライン上 (右打者の内角) の高さ 83cm の場所を中心とした的 (ボール1個分) を設置した。またネット後方に捕手を設置し、的の位置に構えた。ボールは、硬式野球ボール (直径 7.2cm、重さ 145g) を用いた。測定はデジタルビデオカメラ (毎秒 30 コマ、NV-MX5000; Panasonic 社製) を投手の斜め後方に設置して投球位置を記録した。全投球のうち、打者に当たった球、ネットの前で地面にバウンドした球、最高球速の 90% 未満の球は分析から排除した。最高球速の 90% 未満の球を分析から排除するために、ネットの後方に超音波式のスピードガン (SPEED MAX; ZETT 社製) を設置し、投球速度を計測した。

3. 実験手続き

被験者はウォーミングアップ後、最高球速を測定の

表1 各被験者の情報

被験者	年齢 (才)	身長 (cm)	体重 (kg)	通算 (イニング)	直前リーグ戦 (イニング)
B.Y	20	188.3	73.3	43	8 1/3
K.T	21	184.2	77.4	20 1/3	14 1/3
T.S	21	175.5	74.0	7	2 1/3
Y.M	19	177.5	69.0	0	0

※ 表内の「通算」とは、実験前までの通算投球イニングを、「直前リーグ」とは実験の直前リーグ戦での投球イニング数を示す。

ため、正確性を無視した全力投球を5試行行った。被験者は、①打者の立たないC条件、②右打者が近く（ベース右端から30cm）に立ったRN条件、③右打者が遠く（ベース右端から73cm）に立ったRF条件、④左打者が的からRF条件と同じ距離の地点（ベース左端から30cm、ベース右端から73cm）に立ったL条件、の以上4条件で設定した的を目標に投球した。RF条件は、的からの距離がL条件と等しく、RN条件と同じ右打者の立つ条件であり、的から打者の立つ位置までの距離の違いによる影響と、右打者・左打者の違いによる影響を区別するために設定した。またバッテリーボックスの投手寄りか捕手寄りかに関しては、各条件ともバッテリーボックスの中間点に設定した。上記の4条件をランダムに指示し、各条件5球連続を1セットとして被験者に投球させた。投球間隔は被験者の self-pase とし、各条件を1セットずつ計20球投球した後、小休憩をとった。20投を1セットとして計3セット行い、1日計60球投球を行った。上記の測定を4日行い、計240球投球した。実験終了後、アンケート調査を行った。アンケート調査は、全実験過程終了後、『投球する際どのようなことを感じていましたか?』という質問項目に自由記述で解答させた。

4. データの定義・分析

投球位置はビデオカメラで得た映像をデジタイズし算出した。的を原点にとり、水平（左右）方向をx軸、鉛直（上下）方向をy軸と定義し、投球位置のx、y座標を求めた。またJMP IN 日本語版 version5 (SAS Institute Japan 社製) を使用し、等確率楕円を描画する

とともに、長軸の傾きとその95%信頼区間を求めた。

5. 統計検定

- 5.1. 被験者内の条件比較のため、球速、投球位置のx、y座標を変数とし、一元配置分散分析を行った。有意な主効果が認められた際は、Turkeyの多重比較検定を行った。
- 5.2. 等確率楕円が有意に楕円であるかの検討のため、楕円の長軸・短軸方向に対して等分散性の検定を行った。具体的には、各試行の座標を、楕円の中心（投球位置の平均）を原点になるよう平行移動し、楕円の長軸がx軸、短軸がy軸に重なるように回転し、座標変換を行った。座標変換後の座標に対して、等分散性の検定を行った。この検定で等分散性が棄却されることは、長軸長と短軸長に有意な差があり、円ではなく楕円であることを示している。

いずれの検定も、有意水準は5%とした。

Ⅲ. 結 果

各被験者の各条件での、デットボールの球、ネットの前でバウンドした球、球速が最高球速の90%以下の球による、データ分析を行えなかった試行数を表2に示す。

1. 打者なし条件（C条件）における分布

全被験者のC条件の、等確率楕円の長軸の傾きとその信頼区間を表3に、また等確率楕円を図1に図示する。表3から全被験者で傾きの信頼区間は正の範囲で

表2 データ分析を行えなかった試行数

被験者B.Y.	C	RN	RF	L
デットボール	0	0	0	0
バウンド	0	0	1	2
球速	0	0	0	0
計	0	0	1	2

被験者K.T.	C	RN	RF	L
デットボール	0	2	0	0
バウンド	0	0	2	1
球速	0	0	0	0
計	0	2	2	1

被験者T.S.	C	RN	RF	L
デットボール	0	5	0	0
バウンド	0	0	1	1
球速	0	0	0	0
計	0	5	1	1

被験者Y.M.	C	RN	RF	L
デットボール	0	2	0	0
バウンド	0	2	1	1
球速	0	0	0	0
計	0	4	1	1

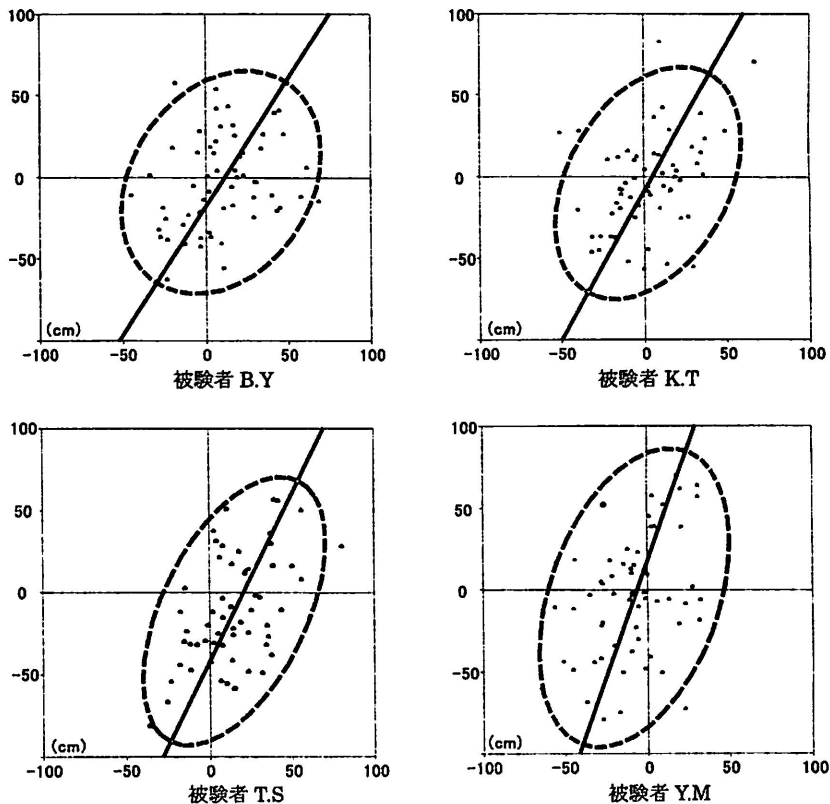


図1 C条件における各被験者の等確率楕円とその長軸
(原点：的の中心、x方向：水平方向、y方向：鉛直方向)

表3 各被験者のC条件における等確率楕円の長軸の傾きとその信頼区分(95%)

	B.Y	K.T	T.S	Y.M
楕円の長軸の傾き	1.56	1.80	2.04	2.83
上側信頼区分(95%)	30.97	4.75	3.49	7.51
下側信頼区分(95%)	0.50	0.96	1.37	1.64

※ 長軸の傾きとは、長軸の式 $y = ax + b$ の a を指す

あった。つまり、投球は投手側から見て左肩下がりに分布した。また等分散性の検定の結果、等分散性が棄却され、C条件の等確率楕円は全被験者で有意に楕円形であると言えた。

(被験者 B.Y : $F(1,118) = 5.173$, $p < 0.05$ 、

被験者 K.T : $F(1,118) = 12.683$, $p < 0.01$ 、

被験者 T.S : $F(1,118) = 33.818$, $p < 0.01$ 、

被験者 Y.M : $F(1,118) = 24.748$, $p < 0.01$)

2. 各投手の条件による投球分布の変化

2.1. 投球位置のx座標

各被験者の投球位置の平均値を図2に示した。一元配置分散分析の結果、被験者 Y.M において条件間で有意な主効果 (x 座標 : $F(3,230) = 11.474$, $p < 0.01$) が認められた。そこで条件間で Turkey の多重比較検定を行った。多重比較検定の結果、C - RN 条件間 ($p < 0.05$)、C - RF 条件間 ($p < 0.05$)、RN - L 条件間 ($p < 0.01$)、および RF - L 条件間 ($p < 0.01$) で有意な差が認められ、

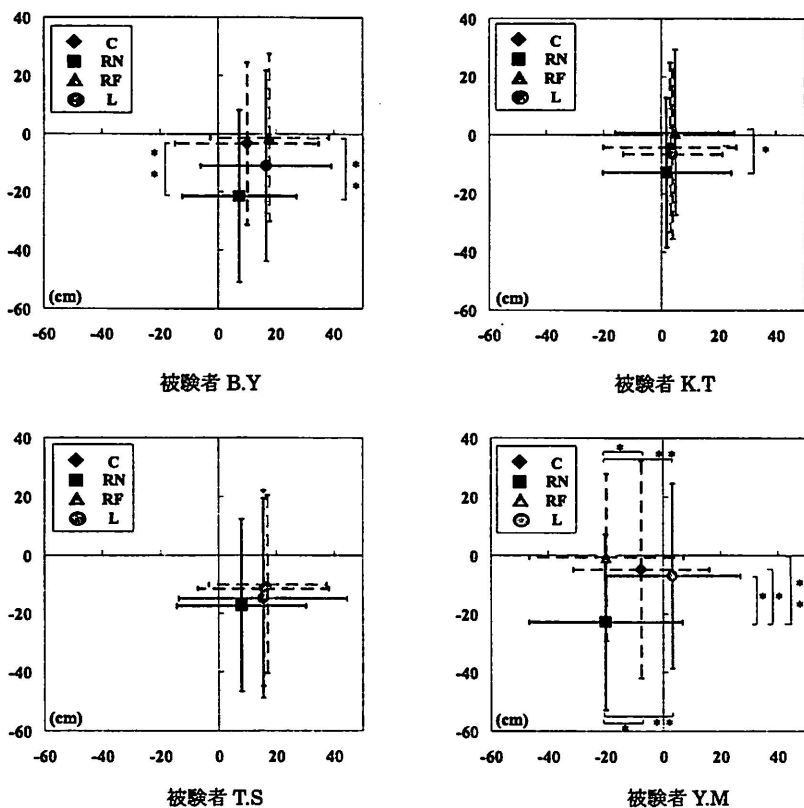


図2 各条件での投球の平均位置
(原点：的の中心、x方向：水平方向、y方向：鉛直方向)
* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

RNおよびRF条件ではCおよびRF条件に比べ、有意に小さい値を示した。つまり、RNおよびRF条件はCおよびRF条件に比べ、有意に投手から見て左方向に投球されていた。

また有意な主効果は見られなかったものの、他の3被験者においてもRN条件で値が小さく、つまり、投手側から見て、左に投球される傾向があった。

2.2. 投球位置のy座標

各被験者の投球位置の平均値を図2に示した。一元配置分散分析の結果、被験者B.Y、Y.Mにおいて条件間で有意な主効果(被験者B.Y:F(3,233)=5.62, $p<0.01$ 、被験者Y.M:F(3,230)=5.223, $p<0.01$)が認められた。そこでTurkeyの多重比較検定を行った。その結果、被験者B.YではC-RN条件間、RN-L条件間で、有意な差($p<0.01$)が認められ、RN条件はC、L条件に比べ、y座標の値が有意に小さな値を示した。つまり、

RN条件はC、L条件に比べ、有意に低く投球された。被験者Y.Mは、C-RN条件間($p<0.05$)、RN-RF条件間($p<0.01$)、RN-L条件間($p<0.05$)で有意な差が認められ、RN条件は他の3条件に比べ、y座標の値が有意に小さい値を示した。つまり、RN条件は他の3条件に比べ、有意に低く投球された。また被験者K.Tは、一元配置分散分析で有意な主効果が認められなかったが、多重比較検定を行ったところ、RN-RF条件間で有意な差($p<0.05$)が認められ、RN条件はRF条件に比べ、y座標の値が有意に小さな値を示した。つまり、RN条件はRF条件に比べ、有意に低く投球された。被験者T.Sだけが、条件間で有意な差は見られなかった。

2.3. 等分散性の検定

各被験者の等確率楕円を図3に示した。等確率楕円の長軸・短軸方向に対して等分散性の検定の結果、被

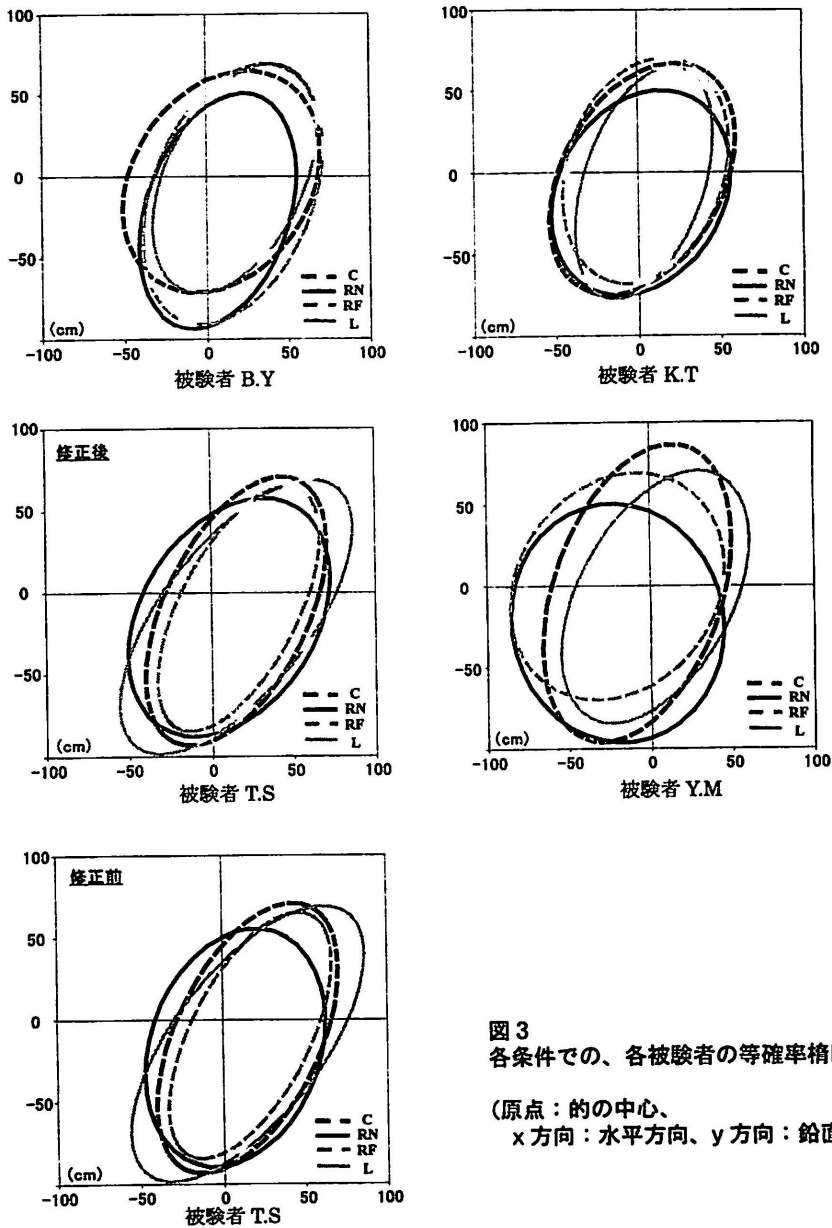


図3
各条件での、各被験者の等確率楕円

(原点：的の中心、
x 方向：水平方向、y 方向：鉛直方向)

験者 B.Y.、K.T.、T.S. は、全条件で等分散性が棄却された。また被験者 Y.M. では、C、L 条件において等分散性が棄却された。つまり、被験者 B.Y.、K.T.、T.S. では、全条件での等確率楕円が、有意に楕円形であると言えた。また被験者 Y.M. では、C および L 条件での等確率楕円が、有意に楕円形であると言えた。

また図3の各条件での等確率楕円を定性的に判断す

ると、RN 条件で楕円の右上部分の欠落が見られた。

3. アンケート調査

アンケート調査の結果、全被験者で RN 条件では「打者に当ててはいけない」という意識が投球中あったことが報告されていた。

IV. 考 察

1. 打者なし (C 条件) における投球の分布について

全被験者において、投球分布は楕円形を示し、かつ左肩下がりの分布をとっていた (図 2)。円形ではなく、楕円形の分布をとったことは、平均位置からある一定方向に偏って、投球がばらついていて示している。投球分布において、このようなある種の規則性が見られることは今まで知られておらず、とても興味深い。またこのような知見は野球のコーチング現場では有用な情報となるだろう。例えば、投手や捕手が打者に対する配球を考える際にも利用できる。楕円の長軸方向へはズレが大きい短軸方向へはズレが少ないことを考慮に入れ、打者の得意コースに投球されないよう確率的に低いコースを選択できる。あるいは、逆に打者からの視点に立てば、このようなばらつき方を知っていることで、どこにコースに投球されやすいのかある程度の予測を立てられるかもしれない。

今回の被験者は全員右投げオーバースローであり、投球する際右上から左下へと腕が振られる。これは等確率楕円の傾きと同じ左肩下がりであり、腕の振りの軌道と投球分布との間に関係性が推察される。この仮説から考えると、左投手の場合は、右肩下がりの投球分布に、サイドスロー投手も場合は、オーバースロー投手よりも横に倒れた投球分布になるものと推測されるが、この点に関しては今後の研究課題としたい。また投球時の腕振りの軌道と投球分布との関係を詳しく調査するには投球動作を計測し、分析する必要がある。

2. 各条件による投球分布の違い

被験者 4 名中 T.S. を除いた 3 名において、RN 条件で有意に投球が低かった (図 2)。その 3 名の等確率楕円について見ると、RN 条件は他の条件の場合と異なり、楕円の右上部分が欠けていた (図 3)。

アンケート調査では、4 名の被験者は RN 条件で多かれ、少なかれ「打者に当ててはいけない」という意識が働いていたことが報告された。つまり、デットボールにならないよう投手側から左方向に投げる意識が多少働いたと考えられる。それは「投球位置の x 座標 (左右方向)」にその傾向が見られ、被験者 Y.M では C、

RF 条件に対して有意に左方向に投球され、被験者 B.Y と K.T も有意な差はないが、RN 条件で最も左に投球される傾向があった (図 2)。打者なしの C 条件の投球は左肩下がりにばらつき、左に投球した球であるほど下方に投球された。つまり、RN 条件では投手は左方向に投げる意識を持ちながら投球したため、左肩下がりの分布に従い、結果的に下方に投球された。その結果、RN 条件の等確率楕円の右上部分が欠落した可能性が考えられる。また長軸の傾きは 1 以上であり、x (左右) の変量に対して y (上下) の変量の方が大きくなった。そのため x 方向ではなく、y 方向に有意な変化が現れたものと考えられる。

RN 条件の「投球位置の y 座標」で唯一有意な差の出なかった被験者 T.S. を見ると、条件 RN の等確率楕円で他の被験者と同様に右上部分が欠けていた。しかし、DB が 5 球あり (表 2)、ネットに当たった位置を想定してデジタイズを行い、データを加えたところ RN 条件での楕円の右上部分の欠落はなくなった (図 3) (ちなみに他の被験者にもデットボール加える作業を行ったが、等確率楕円は大きな変化はなかった)。しかし、上記のように被験者 T.S. は条件 RN でデットボールが 5 球存在した。つまり、T.S. の場合は、他の 3 名で見られたデットボールを避ける投球戦略が実行されず、右上部分が欠落しない分布をとり、他条件と比べ有意に低くは投球されなかったものと言える。

RN 条件が他条件と異なる点は、的に対して打者が近くに立っていることである。今回の結果から考えると、右投手が左打者の内角球を目掛けて投げた時は、左肩下がりの楕円形の左下部分がなくなり、全体的に投球が上方に投球されるのかもしれない。右投手には左打者が有利であると一般的には言われている。その理由の一つには左打者には右投手によって投球されたボールの軌道が見やすいことが挙げられる。このことに加えて、もし右投手が左打者の内角に投球した時、全体的に高めに投球されるならば、これもまた左打者が右投手に有利である理由の一つになるかもしれない。

また RN 条件以外の条件では、4 名の被験者に一定の傾向は見られなかった。それは、投手それぞれによって、条件の得意・不得意などが異なるためであると考えられる。

V. 文 献

- 1) Etnyre BR(1998) Accuracy characteristics of throwing as a result of maximum force effort. *Percept. Motor Skills.*, 86 : 1211-1217.
- 2) Gross JB & Gill DI(1982) Competition and instructional set effects on the speed and accuracy of a throwing task. *Res. Quart. for Exerc. Sport.*, 53 (2) : 125-132.
- 3) Indermill C & Husak WS(1984) Relationship between speed and accuracy in an over-arm throw. *Percept. Motor Skills.*, 59 : 219-222.
- 4) 大築立志(2000) 4.8 動作の正確性を測る. 東京大学身体運動科学運動科学研究室 編. 教養としてのスポーツ・身体運動 東京大学出版:東京, pp.196-197
- 5) 桜井伸二(1992) 2.5 正確に投げる. 桜井伸二 編著 投げる科学 大修館書店:東京, pp.158-172
- 6) Sakurai S & Ohtsuki T(2000) Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *J. Sport Sci.*, 18 (11) : 901-914.
- 7) Tillaar R, & Ettema. G. (2003) Influence of instruction on velocity and accuracy of overarm throwing. *Percept. Motor Skills.*, 96 : 423-434
- 8) 豊島進太郎, 星川保(1976) 投げだされたボールの速度と正確性からみた投運動の調整力. 身体運動科学Ⅱ 杏林書院:東京, pp.68-177.

(2006年5月10日受付、2006年7月4日受理)