

スピードガン計測におけるボールスピードの信頼性

森本 吉謙、宮西 智久、川口 鉄二

Reliability of ball speed in speed radar gun measurement

MORIMOTO Yoshikata, MIYANISHI Tomohisa, KAWAGUCHI Tetsuji

The purpose of this study is to clarify the reliability of ball speed in speed radar gun measurement. Intraclass correlation coefficient (ICC) was designed to assess consistency between speed radar gun and picture analysis measurements. The ICC was calculated using random-effects model of two-way analysis of variance. One male university baseball pitcher participated in the experiment. The subject was required to pitch the ball five times at the subjective efforts of 60% or 70%. The ball speed (initial velocity) of each trial was measured simultaneously using both speed radar gun and high-speed video camera (250frames/s). The speed radar gun was placed at distance of 22m from the subject (1.6m height above the ground) on the extension of pitcher's plate and home base. The pitching motion including the ball was filmed using high-speed video camera positioned at 40m on the right hand side of the subject.

The ICC for the ball speed between speed radar gun and picture analysis measurements was 0.94 (SEM = 0.44). This result indicated that the consistency of the ball speed between two measuring method is very high, and if the ball speed calculated by picture analysis considers as the actual (or approximate actual) value, the ball speed in speed radar gun measurement has high reliability.

Key words : ball speed, speed radar gun, reliability, intraclass correlation coefficient (ICC)

I はじめに

投球運動が研究の対象として扱われ始めた当初、研究者にとってボールスピードの正確な計測は困難な課題であった (Nelson et al., 1966). Rowlands (1963) は、ボールが 100ft. の距離を通過する時間をストップウォッチで求め、距離を時間で微分することによりボールスピードを算出している。また、Van Huss et al. (1962) や Litwhiler and Hamm (1973) は、タイマーに繋がれた 2 本のワイヤーを被験者の指先と標的に各々装着し、ボールがリリースされるとタイマーのスイッチが入り時間の計測が開始され、ボールが標的に的中するのに反応して計測が終了するといった装置を用いている。これらの計測方法においては、ストップウォッチを用いた手動による時間計測では正確さに欠け、また、

タイマーを利用した装置では時間計測が正確であっても、ワイヤーを身体に装着することで運動が制限されるという問題があった (Nelson et al., 1966)。さらに、既知の距離におけるボールの到達時間からボールスピードを求めるこれらの方法では、投球区間内での平均スピードを知るに留まる。

これらの問題に対して、Nelson et al. (1966)、豊島ら (1971)、Toyoshima and Miyashita (1973) などの研究では、2 組のゲートに光電管を装着し、ゲート内をボールが通過する時間を求めボールスピードを算出している。ゲートの間隔は 4ft. あるいは 1m や 5m としており、この計測方法においては、比較的短い区間でのスピードが求められ、また、被験者の運動を制限することなく計測することが可能であった。

その後、リリース直後のボールスピード (初

速)が研究対象となる場合、高速度カメラを用いた画像分析からボールスピードが算出されることが多くなった(桜井, 1992)。高速度カメラでは、毎秒200コマあるいは250コマなどという極めて短い間隔で画像が記録され、ボールの移動を細かく捉えることが可能となる。撮影された画像のデジタイズ処理により、画面上におけるボールおよび実長が既知である較正点の座標を求め、ボールの実座標を算出した後に時間微分を行いボールスピードが得られる。1台の高速度カメラによる画像分析では、投球方向に対して直角となるよう被験者の側方に高速度カメラを置き、ボールの移動を平面(画面)に投影して、水平および鉛直面において2次元的にボールスピードが求められる(三浦・橋本, 1983; 森本・村木, 2001)。また、ボールスピードのみならず投球動作も研究の対象となる場合には、2台の高速度カメラを用いて分析点の3次元座標を求め、動作を立体的に観察する方法が多く用いられている(Feltner and Depena, 1986; 桜井ら, 1990; 宮西ら 1995; 森本ら, 2003)。

一方、「ドップラー効果」を利用したスピードガンも、ボールスピード計測において広く用いられている(今村, 1984)。ドップラー効果とは、波動の源と対象物(者)の両方または片方が運動するとき、波源と対象物からの反射波の周波数が異なって観測される現象のことであり、その周波数の差を利用して対象物のスピードを計測するのがスピードガンの原理である。ボールスピード計測においては、ボールが移動している間、断続的に電波(マイクロ波)をボールに発射してスピードを計測し、その内の最大値を初速として表示している(最小値を終速として初速と併せて表示するものもある)。高校野球やプロ野球のテレビ中継において、1球毎に画面に表示される投手のボールスピードなどは、野球場に設置されたスピードガンによって計測されたものである。

スピードガンを用いたボールスピード計測の

利点としては、計測装置として持ち運びが容易であり、比較的簡便に数多くのデータを採取できること、被験者を特殊な実験条件下に置くことなく、例えば実際のトレーニング場面においても計測できること、また、計測結果を即座に被験者へフィードバックできることなどが挙げられる。これらのことから、計測装置としてのスピードガンの利用価値は高いと考えられるが、先にも述べた通り、ボールスピードが研究対象となる場合には、画像分析が多く用いられている現状にある。その理由の一つとして、画像分析の精度と比べて、スピードガン計測におけるデータの信頼性が未だ不確かであることが考えられる。これまで、いくつかの研究(後藤ら, 2000; 柳澤, 2000; Morimoto et al., 2003; 森本ら, 2004)においては、スピードガン計測によるボールスピードが分析対象として扱われているが、本来その前提条件となる、スピードガン計測がどれ程の信頼性を持つのかを詳細に検討した研究は見当たらない。

そこで本研究では、スピードガンと高速度カメラを用いた画像分析の両方法によってボールスピードを同時計測し、それらの値の一致性の評価から、スピードガン計測の信頼性を検討することを目的とする。

II 方 法

1. 被験者および実験試技

大学硬式野球部に所属する投手1名(右投げ, 身長:1.74m, 体重:73.0kg, 年齢:21歳, 競技歴:12年)を被験者とした。

試技開始位置(投手板)から18.44m先にホームベースを置き、その後方に捕手として捕球者を座らせ実験試技を行った。被験者には、いずれの試技もワインドアップモーションで、捕手に向かい60から70%の努力度合いで5球の投球を行うよう求めた。

2. 測定方法および測定項目

ボールのリリース位置に対して直角となるように、被験者右側方 40m の地点へ 1 台の高速度カメラ (Nac 社製, HSV-500C³) を設置し、各試技を毎秒 250 コマ (露出時間 1/2000 秒) で撮影した。得られた画像からビデオ動作解析装置 (DKH 社製, Frame-DIAS) により、リリース後 2 コマにおいて、ボール中心点および実長が既知である 4 つの較正点の 2 次元座標を読み取り、その後、ボール中心点の実座標からボールスピードを算出した。なお、算出精度を高める為、各試技 3 名で各々ボールスピードを分析および算出し、それらの平均値を画像分析によるボールスピードの代表値として扱った。

また、投球板とホームベースを結んだ線分の延長線上で、投手板からの距離が 22m (レンズ中心高 1.6m) の地点にスピードガン (Decatur Electronics 社製, PSK-DSP) を設置し、各試技のボールスピードを計測した。

3. 統計処理

スピードガンと画像分析の両計測方法におけ

るボールスピードの一致性を評価する指標として、二元配置型変量効果モデルの級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient: 以下, ICC) (式 2, 1) (Shrout and Fleiss, 1979) を算出した。

III 結 果

Table 1 は、スピードガンおよび画像分析の両計測方法によって得られた各 5 試技のボールスピードの値と、それらの平均値および標準偏差を示したものである。

スピードガンおよび画像分析におけるボールスピードの平均値と標準偏差は、各々 112.9 ± 1.7km/h, 113.4 ± 1.8km/h であった。

Table 2 に、両計測方法のボールスピードから求めた二元配置の分散分析表を、また、Table 3 に、ICC とその 95% 信頼区間の下限値および測定の標準誤差をそれぞれ示した。

ICC は 0.94, 95% 信頼区間の下限値は 0.67, 測定の標準誤差は 0.44 であり、スピードガン

Table 1 Ball speed (km/h) measured by speed radar gun and picture analysis

	Number of trials					Mean±SD
	1st	2nd	3rd	4th	5th	
Speed radar gun	111.0	111.0	114.7	113.8	113.8	112.9±1.7
Picture analysis	111.7	111.2	114.7	114.7	114.6	113.4±1.8

Table 2 Result of two-way analysis of variance (ANOVA)

Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square
Between trials	24.31	4	6.08
Between measuring methods	0.68	1	0.68
Residual	0.31	4	0.08

Table 3 ICC data for the ball speed between speed radar gun and picture analysis measurements

ICC(formula 2,1)	0.94
Lower limit of 95% confidence interval	0.67 < ρ
SEM	0.44

ICC = intraclass correlation coefficient; SEM = standard error of measurement.

および画像分析から得られたボールスピードは高い一致性を示した。

IV 考 察

本研究では、スピードガンと高速度カメラを用いた画像分析の両方法により、同一試技のボールスピードを計測した。その結果、平均値として画像分析がスピードガンを0.5km/h上回った。さらに1試技毎のボールスピードを詳細にみると、5試技中4試技において、画像分析がスピードガンの値を0.2から0.9km/hの範囲で上回っていた(Table 1)。画像分析から算出したボールスピードを実際の(あるいは実際に近似した)値と仮定するならば、スピードガン計測では、実際よりも若干低い値が示されたこととなる。スピードガン計測において誤差が生じる要因としては、設置場所による角度差が一般に知られている(中野, 1999)。すなわち、計測対象物の進行方向に対してスピードガンのレンズ面(光軸)を合致させなければ、電波と計測対象物の起動に角度差が生じてしまい、正確なスピードは計測されないのである。本研究では、このことを考慮して、ボールの進行方向に対する延長線上にスピードガンを設置したが、角度差によってボールスピードが低く示された可能性は少ないと考えられる。そこで別の可能性として、スピードの計測領域が挙げられる。理論上、投球運動においてはリリース時のボールスピードが最も速く、画像分析ではそこでのボールの移動を捉えて初速として算出している。それに対してスピードガン計測においては、ボールが移動している間、断続的に電波をボールに発射してスピードを計測し、その内の最大値を初速として表示している。したがって、スピードを計測した領域(時点)がリリース時と合致していれば画像分析と同等の、リリース前後のいずれかで計測した場合には比較的低いスピードが示される可能性がある。ただし、その差が1km/h未満であった本研究の

結果をみると、スピードガンの計測領域がリリース時から大きく異なることはないと考えられる。

さて、スピードガンと画像分析計測の間に平均して0.5km/hの差が示された訳だが、平均値の差を比較するのみでは、その差の大小を客観的に判断することができず、本研究の目的であるスピードガン計測の信頼性を評価するのに不十分である。そこで、Shrout and Fleiss (1979)によるCase2のICC(2, 1)を信頼性の指標として用いた。これは、あるテスト方法に対して、既に信頼性が認められていたり、広く受け入れられているテスト(本研究における画像分析)との間で値の一致性を求め、そのテストの信頼性を評価するのにしばしば用いられる(Thomas and Nelson, 1990)。信頼性を数値化した信頼性係数の推定方法には、他にも一定の期間を置いて再テストし、相関係数を信頼性係数とする再テスト法、一つのテストを折半し、二つのテストとみなし相関係数をとる折半法、関心下のテストと観測得点の平均と分散が等しいテストを作成し相関係数をとる代理テスト法、そして α 係数による信頼性係数の推定などがある。また、ICCの算出方法も、それを適用するケースに応じて異なってくる。ICCの算出方法によっては、同一のデータであっても値が大きく異なる場合があるため、ケースの適用に誤りがないよう注意する必要がある。Shrout and Fleiss (1979)によれば、ICCにはCase1(一元配置型変数効果モデル)、Case2(二元配置型変数効果モデル)、Case3(二元配置型混合効果モデル)の3つの形式があり、また、それぞれの下位モデルにICC(n, 1)、ICC(n, k)があり(n=1, 2, 3)、合計6つの公式が提唱されている。この分類に基づいてICCを使用している研究論文(Youdas et al., 1993; 谷, 1997; Rankin and Stokes, 1998)や著書(Portney and Watkins, 1993; SKETCH研究会, 2005)は数多い。Case1では、評価者(人物、計測方法、計測装置など)の影響を考慮せず、

同一評価者による評価者内信頼性が求められる。また、1人の評価者が複数の対象を評価する場合には Case1 の ICC (1, 1) が用いられ、複数の対象に対して計測を繰り返し行い、それぞれの平均値をデータとした場合の信頼性を求めるには ICC (1, k) が用いられる。一方、複数の評価者によって複数の対象を評価する場合の評価者間信頼性を求めるには、Case2 の ICC (2, 1) と Case3 の ICC (3, 1) が用いられる。Case1 と同様に、複数の対象を反復して計測した平均値に対して評価者間信頼性を求める際には、それぞれ ICC (2, k) と ICC (3, k) が適用される。なお、Case3 においては評価者間で計測値が異なっても、その差が各対象において常に一定であれば信頼性が高いと判断され、それに対して評価者間の完全一致を要するのが Case2 となる。

これらのことから、本研究では各試技 (対象) において、スピードガンと画像分析の2つの計測方法 (評価者) で示されたボールスピードの一致性を Case2 の ICC (2, 1) から求め、スピードガン計測の信頼性を評価した。二元配置分散分析によって求めた、各変動要因 (対象, 測定方法, 残差) の平均平方を利用して (Table 2) ICC を算出した結果、ICC は 0.94 (SEM=0.44) という高い値が示された (Table 3)。画像分析によるボールスピード計測は、高速度カメラを用いることでボールの移動を詳細に捉えることが可能であり、極めて短い時間間隔で記録された画像に基づきボールスピードの算出がなされる。よって、画像分析から算出したボールスピードを実際の (あるいは実際に近似した) 値と仮定することに大きな問題はないと考えられ、現在のところ、最も広く受け入れられている精度の高い計測方法であろう。したがって、その値と高い一致性を示したスピードガン計測によるボールスピードは、高い信頼性を持つと考えられる。

V まとめ

本研究の目的は、スピードガン計測におけるボールスピードの信頼性を明らかにすることであった。大学硬式野球部に所属する1名の被験者による5試技の投球に対し、スピードガンと画像分析の両方法を用いてボールスピードを同時計測し、ICC (2, 1) によってそれらの値の一致性を評価した。

その結果、ICC は 0.94 (SEM = 0.44) という高い値が示された。このことから、スピードガンと画像分析の両計測方法によって得られるボールスピードの一致性は高く、スピードガン計測によって得られたボールスピードには高い信頼性があると考えられる。

文 献

- Feltner, M. and Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sport Biomechanics* 2: 235-259.
- 後藤実, 谷口有子, 山本正嘉, 百武憲一, 岩井美樹, 成澤三雄 (2000) 野球投手におけるボールスピードの低下と筋力, 全身持久力との関係. *トレーニング科学* 12: 103-110.
- 今村稔 (1984) スピードガンの原理, 現代体育スポーツ体系第7巻, 身体運動の科学. 講談社: 東京, pp.77-78.
- Litwhiler, D. and Hamm, L. (1973) Overload: effect of throwing velocity and accuracy. *Athletic Journal* 53(5): 64-65, 88.
- 三浦望慶, 橋本勲 (1980) 投げにおける方向と初速度と重量と. *体育の科学* 30: 473-477.
- 宮西智久, 藤井範久, 阿江通良, 功力靖雄, 岡田守彦 (1995) 大学野球選手における遠投および速球動作の3次元的比較研究. *体育学研究* 40: 89-103.
- 森本吉謙, 村木征人 (2001) 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. *スポーツ方法学研究* 14: 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ブッドおよびレジスティブッド・トレーニングとしての即時効果. *ス*

- スポーツ方法学研究 16 : 13-26.
- 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: 238-246.
- 森本吉謙, 伊藤浩志, 川村卓, 村木征人 (2004) 野球の投球運動におけるアシスティッドおよびレジスティッドトレーニングがボールスピードと正確性に及ぼす影響. *トレーニング科学* 15 : 171-178.
- 中野聖己 (1999) スピードガンの秘密. *週刊ベースボール* 54 (29) : 116-117.
- Nelson, R.C., G. Larson, C. Crawford and D. Brose (1966) Development of a ball Velocity measuring Device. *Research Quarterly* 37: 150-155.
- Portney, L. G. and Watkins, M. P. (1993) *Foundations of clinical research -applications to practice-*. Appleton and Lange. Prentice Hall: USA, pp.505-516.
- Rankin, G. and Stokes, M. (1998) Reliability of assessment tools in rehabilitation: an illustration of appropriate statistical analyses. *Clinical rehabilitation* 12: 187-199.
- Rowlands, D.J. (1963) The effect of weight training exercises upon the throwing power and strength of college baseball players. Paper presented at the national AAHPER convention: Minneapolis, Minn.
- 桜井伸二, 池上康男, 矢部京之助, 岡本敦, 豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の3次元動作解析. *体育学研究* 35 : 143-156.
- 桜井伸二 (1992) 投げる科学. 大修館書店: 東京, pp.23-25.
- Shrout, P.E. and Fleiss, J.L. (1979) Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological Bulletin* 86: 420-428.
- SKETCH 研究会 (2005) 臨床データの信頼性と妥当性. サイエンティスト社: 東京, pp.162-173.
- 谷浩明 (1997) 評価の信頼性. *理学療法科学* 12: 113-120.
- Thomas, J.R. and Nelson, J.K. (1990) *Research methods in physical activity. Human Kinetics: Champaign*, pp.343-363.
- 豊島進太郎, 松井秀治, 宮下充正 (1971) 投球動作における上肢筋の筋電図学的研究. *体育学研究* 15 : 103-109.
- Toyoshima, S. and Miyashita, M. (1973) Force-velocity relation in throwing. *Research Quarterly* 44: 86-95.
- Van Huss, W.D., Albrecht, L., Nelson, R. and Hagerman, R. (1962) Effect of overload warm-up on the velocity and accuracy of throwing. *Research Quarterly* 33: 472-475.
- 柳澤修, 宮永豊, 白木仁, 下条仁士, 向井直樹, 佃文子, 新津守, 坂井悠二 (2000) 高校生投手の投球数増加が身体諸機能に及ぼす影響—いわゆる 100 球肩の検証—. *臨床スポーツ医学* 17 : 735-739.
- Youdas, J. W., Bogad, C. L. and Suman, V. J. (1993) Reliability of goniometric measurements and visual estimates of ankle joint active range of motion obtained in a clinical setting. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 74: 1113-1118.

(平成 19 年 1 月 19 日受付, 平成 19 年 2 月 22 日受理)