

資 料

## スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較

宮西 智久, 向井 正剛, 川口 鉄二, 関岡 康雄

Comparison of ball speed between speed radar gun and motion picture camera measurements

Tomohisa Miyanishi, Masakata Mukai, Tetsuji Kawaguchi and Yasuo Sekioka

### 1. はじめに

野球競技において、投能力の高い優れた投手をチームにもつことは、その競技力を決定づける最重要要因のひとつであろう。これまで最も速いボールを投げた投手は、元大リーグのノーラン・ライアン投手（当時カリフォルニアエンジェルス）である<sup>1)</sup>。1974年8月20日アナハイムスタジアムにおいて、彼の投げたボールは時速162.3 kmと計測された。我が国では、伊良部秀輝投手（当時ロッテマリーンズ、現ニューヨークヤンキース）が1993年5月3日西武球場において時速158 kmを投げたものが最速であると言われている<sup>2)</sup>。

ところで、肝心の投手によって投げ出されたボールのスピード（速さ）であるが、これは一般に“スピードガン”と呼ばれる測定器で計測される。次節に、スピードガンの測定原理について具体的に記すとともに、計測上の問題点を指摘して、本研究の目的を述べる。

#### 1.1 スピードガンの測定原理

スピードガンの測定原理は「ドップラー効果」を利用したものである<sup>2,3,4)</sup>。すなわち、これは、移動中にある測定対象物（自動車、ボール等）に対して10.525 GHz（ギガヘルツ）または25.120 GHz相当の周波数の電波（マイクロ波）を発信し、その電波と測定対象物に当たりはね返って

くる電波の周波数との差（ドップラー周波数）を利用して測定対象物のスピードを計測する方法である<sup>2)</sup>。ただし、測定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、正確なスピードは計測されない。これは電波と測定対象物の軌道に角度差が生じるからである<sup>3)</sup>。理論的には、この角度差が大きくなるほど計測誤差も大きくなり、その差が90°（直角）になると、スピードは計測されないという<sup>3,4)</sup>。したがって、測定対象物のスピードを厳密に計測するためには、上下・左右方向の3次元的角度差によるずれを0°にしなければならない<sup>3)</sup>。

しかしながら、実際の野球の試合場面では、スピードガンは主審による遮蔽などのために捕手の真後ろの延長線上に設置することができないので、一般にグラウンドから2 m~9 mの高さ<sup>3)</sup>のバックネット裏やスタンドに設置される。したがって、スピードガンで計測されたボールのスピード値には、設置場所固有の角度差による誤差が混入していることになる。これらの角度差による誤差は一部のメーカーによって示されている<sup>4)</sup>が、この値は三角関数を用いて導き出されたものであり、実験によって実際に計測されたものではない。このように、実際にスピードガンを用いて計測されたボールスピード値にどれくらいの角度差による誤差が混入している

のかは一般に知られていないようである。

本研究の目的は、スピードガンの設置角度の相違が計測スピードへおよぼす影響を実験的に見積もることである。このために投手によって投げ出されたボールのスピードを、水平方向に対して種々の位置に設置したスピードガンと側方に設置した高速度ビデオカメラの2つの方法を用いて同時計測し、それらの値を比較検討した。

## 2. 研究方法

### 2.1. ボールスピード測定法

#### 2.1.1 スピードガン

本研究で用いたスピードガンは、米国 Decatur Electronics 社製の PSK Professional (モデル PSK-DSP) である (写真 1<sup>#1</sup>)<sup>4)</sup>。このスピードガンはバッテリー駆動型のもので、その仕様は発信電波の有効通達距離約 1,000 m, 周波数 25.120 GHz, 測定精度 $\pm 1$  km/h, 測定可能スピード 50 km/h $\sim$ 320 km/h である。ただ

し、野球ボールなど測定対象物の大きさが極めて小さい場合の有効通達距離は約 61 m に制限される。

#### 2.1.2 画像計測

本研究で用いたビデオカメラは、nac 社製の高速度ビデオカメラ HSV-500C<sup>3</sup> (モデル ST-549-J) である<sup>5)</sup>。このビデオカメラは本体部 (VCR) とカラーカメラ部 (ズームレンズ含む) で構成されている。本体部の記録方式は VHS/S-VHS 方式 (NTSC) であり、撮影コマ数は毎秒 125 コマ, 250 コマおよび 500 コマを有する。なお、時間精度は $\pm 10^{-4}$  以下である。一方、カラーカメラは 1/3 インチ固体撮影素子 3 板であり、電子シャッター速度は 1/500 秒 $\sim$ 1/10,000 秒までの 5 段階を有する。ズームレンズの光学的性能は焦点距離が 5.5 mm $\sim$ 55 mm, ズーム比が 10 倍, 最大口径比が 1/1.6, 画角 (水平 $\times$ 垂直) が 47.1 $^{\circ}$  $\times$ 36.2 $^{\circ}$  $\sim$ 5 $^{\circ}$  $\times$ 3.7 $^{\circ}$  である。

画像処理は DKH 社製のビデオ動作解析装置 (Frame-DIAS)<sup>6)</sup> を用いた。この装置の主要部は画像処理ボードを装着したコンピュータ本体

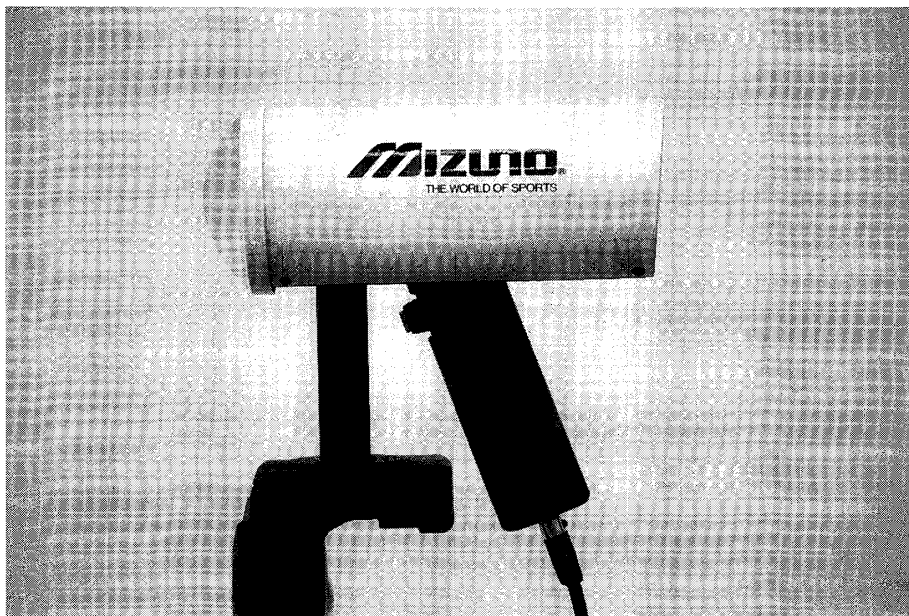


写真 1 本研究で用いたスピードガン

<sup>#1</sup> 写真のスピードガンには (株) ミズノ社のトレードマークが貼付されている。これは、このスピードガンが我が国では (株) トーアスポーツマシーン社 (本社大阪) を正規輸入代理店として各スポーツ用品メーカーを通して販売されている事情による。

部と解析用 VTR (AG-7355, Panasonic 社製) である。画面上でのデジタイズ分解能(縦×横)は 512 dot×512 dot, 縦横比は 3:4 である。したがって, 本研究の実験設定において, 画面上の 1 dot は縦が約 4.39 mm, 横が約 5.86 mm に相当する。この画像処理上の測定精度はボール速度の算出精度に影響を与えている。

## 2.2 実験

被験者は体育大学の硬式野球部に所属する投手 1 名 (K.S: 身長 1.74 m, 体重 73.0 kg, 年齢 21 才, 競技歴 12 年) を用いた。

実験は, 大学の陸上競技場ホームストレート側の 100 m ゴール付近で実施した。図 1 に実験状況を模式的に示す。

図 1 に示すように, 1 台のスピードガン PSK Professional を以下の 2 つの距離条件で設置した。すなわち, ピッチャープレートとスピードガン間の距離が 22 m (レンズ中心高 1.6 m) と 40 m (2.9 m) の地点である。さらに各地点において, ピッチャープレートとホームベース間を結んだ線分を基準線 (設置角度 0°) として, スピードガンを 0°~5° (0° ≤ θ ≤ 5°) の範囲で 1° 毎に順に水平 (ピッチャープレートからみて左) 方向へ設置した。なお, 設置角度 0° 条件における 22 m 地点は捕手の真後ろであり, 同様に 40 m

地点は西武ドームにおける計測条件とほぼ同一である<sup>3)</sup>。

また, 被験者によって投げ出されたボールの進行方向に対して直角となるように, 被験者の右側方 40 m の地点へ 1 台の高速ビデオカメラ HSV-500C<sup>3</sup> を設置した。

このようにスピードガンと高速カメラを設置した後, ピッチャープレートから 18.44 m の地点へホームベースを置き, 捕手を座らせた。そして, 被験者に対して各設置条件毎にウィンドアップモーションでボールをストライクゾーンへ計 5 球投げるように指示した。投球数は合計 60 球であった。投球の努力度合は全力の 6, 7 割とした。

これらの投球試技のボールスピード (初速) をスピードガンを用いて計測すると同時に, その動作を毎秒 250 コマ (露出時間: 1/2000 秒) で高速撮影し VCR に収録 (S-VHS) した。

## 2.3 画像データによるボールスピード (初速) の算出

得られた画像のボール中心点と較正マーク 4 点 (図 1) の 2 次元座標をビデオ動作解析装置 Frame-DIAS を用いて 1 コマ毎に読み取り, 投げ出された瞬間のボールスピード (初速) を算出した。ボールスピードは, 指先から完全に離

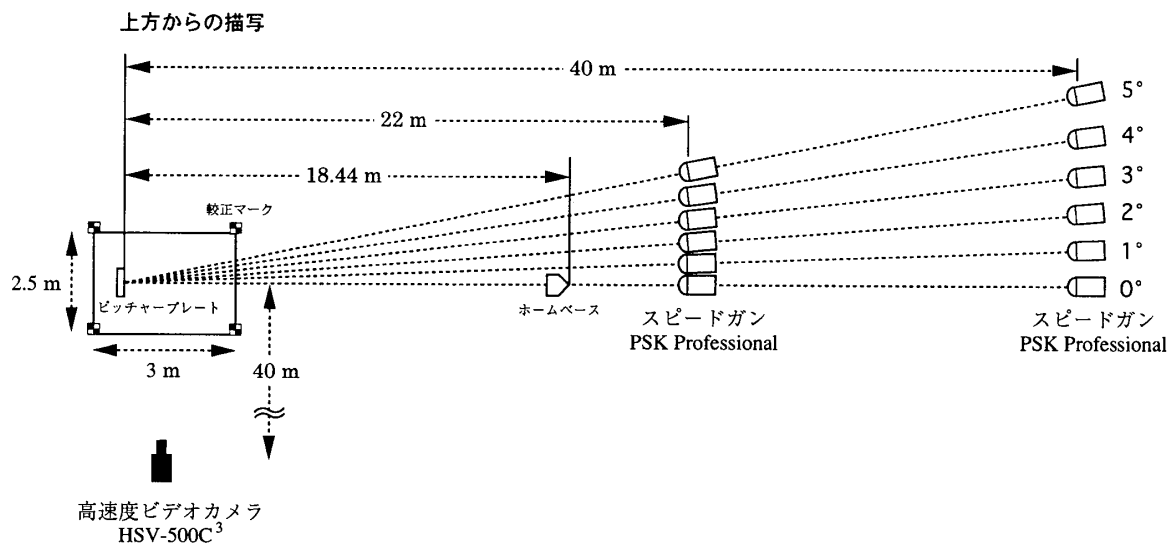


図 1 スピードガンおよび高速カメラの設置

球した時点のコマのボール座標データを基準に、その後の2コマのデータを用いて、それらを1回時間微分したものとした。なお、ボール中心点の読み取り作業は良好であったため、座標データの平滑化は施さなかった。データの算出精度を高めるために、ボールスピードは同一試技を3名の作業者が個々別々に分析して算出し、3名の平均値をボールスピードとした。

### 3. 結果

表1に各試技におけるスピードガンおよび画像計測により得られたボールスピード値を示す。ただし、画像計測の値は読み取り作業3名の平均値である。

表1における5投の平均値をみると、ボールスピードは、設置地点22mと40mにおけるいずれの角度条件においても、画像計測の値の方がスピードガン計測の値よりも大きく、その最大平均差は2.0 km/h（設置地点40mにおける4°および5°条件）であった。

また表1を詳細にみると、ボールスピードの平均差は、設置地点22mの0°条件では0.5 km/hで小さいが、5°条件では1.9 km/hでありその差が大きいことがわかる。このように、スピードガンの設置角度が大きくなるにしたがって双方の計測法によるスピード差も大きくなった。同様な傾向は、0°条件を除く、設置地点40mのいずれの角度条件においても認められた。

なお、双方の計測法によるボールスピードの平均差は、すべての角度条件において設置地点22mの値の方が設置地点40mの値よりも小さかった。

### 4. 考察

#### 4.1 ボールスピードの相違について

はじめに述べたように、スピードガン計測では、スピードガンの発信電波と測定対象物の進行方向に角度差が生じると正確なスピードは原

表1 スピードガンおよび画像計測によるボールスピード値

SG：スピードガン計測  
VTR：画像計測

角度	回数	設置距離					
		22 m			40 m		
		SG (S)	VTR (V)	V-S	SG (S)	VTR (V)	V-S
0°	1	111.0	111.7	0.7	112.2	113.6	1.4
	2	111.0	111.2	0.2	111.3	114.6	3.3
	3	114.7	114.7	0.0	114.8	116.4	1.6
	4	113.8	114.7	0.9	115.4	118.6	3.2
	5	113.8	114.6	0.8	111.6	111.8	0.2
	M	112.9	113.4	0.5	113.1	115.0	1.9
	SD	1.7	1.8	0.4	1.9	2.6	1.3
1°	1	114.0	114.6	0.6	117.1	118.3	1.2
	2	112.4	115.1	2.7	117.9	118.3	0.4
	3	119.8	121.7	1.9	120.3	121.8	1.5
	4	118.9	118.1	-0.8	121.9	123.0	1.1
	5	117.6	118.2	0.6	119.7	121.8	2.1
	M	116.5	117.6	1.0	119.4	120.6	1.2
	SD	3.2	2.9	1.4	1.9	2.2	0.6
2°	1	118.0	118.2	0.2	116.7	118.2	1.5
	2	117.4	118.2	0.8	115.2	116.1	0.9
	3	120.6	122.0	1.4	116.6	118.3	1.7
	4	118.1	119.4	1.3	116.7	118.2	1.5
	5	120.8	122.3	1.5	117.1	118.2	1.1
	M	119.0	120.0	1.0	116.5	117.8	1.3
	SD	1.6	2.0	0.6	0.7	1.0	0.3
3°	1	117.5	118.2	0.7	114.7	114.6	-0.1
	2	114.7	115.0	0.3	117.2	119.4	2.2
	3	116.5	117.8	1.3	119.1	119.3	0.2
	4	119.1	120.3	1.2	118.1	120.7	2.6
	5	120.3	121.8	1.5	119.7	121.8	2.1
	M	117.6	118.6	1.0	117.8	119.2	1.4
	SD	2.2	2.6	0.5	2.0	2.8	1.2
4°	1	116.3	117.9	1.6	116.2	118.2	2.0
	2	116.8	118.2	1.4	117.8	119.4	1.6
	3	113.6	117.2	3.6	118.4	120.5	2.1
	4	117.3	118.1	0.8	118.4	121.8	3.4
	5	117.0	118.2	1.2	120.8	121.8	1.0
	M	116.2	117.9	1.7	118.3	120.3	2.0
	SD	1.5	0.4	1.1	1.7	1.5	0.9
5°	1	119.9	122.0	2.1	113.4	116.1	2.7
	2	117.5	120.6	3.1	120.8	122.3	1.5
	3	118.3	120.2	1.9	121.8	124.3	2.5
	4	122.2	122.9	0.7	117.5	119.3	1.8
	5	118.8	120.6	1.8	123.4	124.7	1.3
	M	119.3	121.3	1.9	119.4	121.3	2.0
	SD	1.8	1.1	0.9	4.0	3.6	0.6

M：平均値 SD：標準偏差

単位：km/h

理的に計測できないため、野球の試合などにおいてスピードガンを用いて得られたボールのスピードは実際のスピードよりも小さく見積もられている。

一方、画像計測では、目的に応じて適切な位置にカメラを設置さえすれば、スピードガンにおけるような設置角度による影響はほとんどないと考えてよいので、実際のスピードにより近い値を得ることができると考えられる。このことを考慮して、本研究ではボールの進行方向に対してカメラを直角に設置してその軌道を撮影

するとともに, さらにボールのスピードを投げ出された瞬間の直線的に近似できるボールの座標変位から求めた。

これらのことから, ボールのスピードは, 画像計測を用いた方がスピードガン計測よりも精度良く計測されているものと考えられる。したがって, 表2に示したように, スピードガン計測のボールスピード値が画像計測よりも全般に小さかったのは, スピードガンの設置角度が大きく影響を及ぼしたためであると考えられる。

#### 4.2 スピードガンの設置条件について

表1に示したように, スピードガンの設置条件, すなわち設置角度が大きくなればなるほど, 設置距離にかかわらず, 双方の計測法によるボールスピードの平均差は大きくなった。とりわけ設置地点22 mの4°および5°条件では3°以下の角度条件に比べ, スピードの平均差がそれぞれ1.7 km/hおよび1.9 km/hと顕著に大きかった。このような傾向は設置地点40 mの角度条件においてもみられた。ただし, 設置地点40 mの0°条件において, 両計測法によるボールスピードの平均差(1.9 km/h)が他の角度条件よりも大きかった原因は, 本研究の実験においてスピードガンのレンズ面の向きがピッチャープレート-ホームベース間を結んだ線分に対して若干ずれていたことなどによると考えられる。この原因については今後さらに調査する必要がある。

以上のことから, 設置地点22 mと40 mにおけるスピードガンの設置条件は, 以下のように指摘できよう。すなわちスピードガンにおけるボールスピードは, 設置角度0°条件では画像計測よりも約0.5 km/h, 設置角度が0°を越え3°以下の条件では約0.5 km/h~約1.5 km/h, 4°以上5°以下では約1.5 km/h~約2.0 km/h小さく計測されている可能性がある。

最後に, スピードガン計測時におけるボールスピード(初速)計測領域の特定や, 画像計測時における撮影スピードの向上およびボールリリース前後のカメラ画角の拡大などが計測値へ

およぼす影響を調査することが今後の課題であろう。

## 5. ま と め

本研究では野球投手によって投げ出されたボールのスピード(初速)をスピードガンと高速度ビデオカメラを用いて同時計測し, 両計測法によって得られたスピードを比較検討した。

その結果, スピードガンの設置地点22 mと40 mにおけるいずれの角度条件においても, ボールのスピードはスピードガン計測の値が画像計測のものを下回った。具体的には, 設置角度0°では約0.5 km/h(ただし, 設置距離22 m時), 設置角度 $0^\circ < \theta \leq 3^\circ$ では約0.5 km/h~約1.5 km/h, そして設置角度 $4^\circ \leq \theta \leq 5^\circ$ では約1.5 km/h~約2.0 km/h小さかった。スピードガンと画像計測間のスピードの平均差は設置地点22 mの方が設置地点40 mよりも小さく, 進行(奥行き)方向の差もみられた。

## 謝 辞

データの収集・解析にあたって, スポーツ運動学系所属の井上尚久および玉城建郎の両学生に協力を得た。記して両君に感謝の意を表したい。

## 参 考 文 献

- 1) イアン・カステロ=コルテス, マイケル・フェルドマン編(1996)世界記録事典ギネスブック'97. 騎虎書房(訳 大出 健), 東京: pp. 360-361
- 2) 今村 稔(1984) スピードガンの原理. 現代体育・スポーツ大系第7巻, 身体運動の科学(浅見俊雄他 編), 講談社, 東京: pp. 77-78
- 3) 中野聖己(1999) スピードガンの秘密. 週刊ベースボール 54 (29): pp. 116-117
- 4) PSK Professional 取り扱い説明書(1996) 株式会社トーアスポーツマシーン [PSK Professional: User's Manual (1995) Decatur Electronics, Inc.]

スピードガンと画像計測によるボールスピードの比較

- 5) ナックハイスピードビデオシステム HSV-500C<sup>3</sup> 取扱説明書 (1997) 株式会社ナック
- 6) ビデオ動作解析装置 Frame-DIAS 説明書 (1998) DKH 株式会社

(平成 11 年 9 月 27 日受付, 平成 12 年 1 月 11 日受理)