

# 野球におけるボールストライク自動判定手法の提案

福田 大翔<sup>†</sup> 足立 翔平<sup>†</sup> 渡辺 裕<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 早稲田大学 基幹理工学研究科 情報理工・情報通信専攻

〒169-0072 東京都新宿区大久保 3-14-9 早大シルマンホール 401

E-mail: <sup>†</sup> {taketomohiro@akane.waseda.jp, alice-fr@asagi.waseda.jp, hiroschi.watanabe@waseda.jp}

あらまし 近年、多くのスポーツで自動判定が導入されている。特にプロ野球では、レーザースキャナーや複数台カメラを用いた先進的な判定手法が導入されている。しかし、アマチュアや少年野球では、このような高価なシステムを導入することはできない。そこで我々は、1台のカメラのみを用いた三次元ボールストライク判定手法を提案する。本手法は、カメラキャリブレーション、ストライクゾーン推定、ボール軌道推定の3つのブロックから構成される。実験では、提案の精度評価に用いるデータセット作成手法と、従来の判定手法と比較実験を行い、提案の有効性を評価する。

キーワード 画像処理, 物体検出, 姿勢推定

## Proposal on Automatical Ball and Strike Judgement in Baseball

Hiroto FUKUTA<sup>†</sup> Shohei ADACHI<sup>†</sup> and Hiroshi WATANABE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Fundamental Science and Engineering, Waseda University

#401 Sodai Shillman hall Building 3-14-9 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-0072 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {taketomohiro@akane.waseda.jp, alice-fr@asagi.waseda.jp, hiroschi.watanabe@waseda.jp}

**Abstract** In recent years, automatic judgment has been introduced in many sports. Especially in professional baseball, advanced judging methods using laser scanners and multiple cameras have been introduced. However, amateur and youth baseball cannot afford such expensive systems. Therefore, we propose a three-dimensional ball-strike decision method using only one camera. The proposed method consists of three blocks: camera calibration, strike zone estimation, and ball trajectory estimation. In the experiment, we show the results of the comparison between the proposed method for creating a dataset for evaluating the accuracy and the conventional method for judging the accuracy.

**Keyword** Image Processing, Object Detection, Pose Estimation

### 1. はじめに

近年、多くのスポーツ分野において自動判定の導入が進んでいる。野球においてもABS[1]というボールストライクの自動判定システムの導入が検討されている。このシステムは専用の機器や複数台のカメラを用いて高精度の判定を実現している。しかし、これらの機器は非常に高価であり、導入できる環境も限定される。また、少年野球やアマチュア野球では審判員の不足が問題となっている。そのため、審判資格や野球経験がない人が審判を務めるケースが多く存在している。少年野球やアマチュア野球の試合が行われる公共のグラウンドでは、ABSのような方法を使うことはできない。そこで、野球のボールストライク判定を自動的に行う方法として、複数台のカメラを用いる方法[2]や、野球中継映像の視点を基にした方法[3]が提案されている。しかし、複数台のカメラを用いる方法では、カメラの

時間同期や位置関係のキャリブレーションが必要となり、設置条件やシステムが複雑化する可能性がある。また、野球中継映像の視点を基にした方法では、遠方の視点から望遠かつ高精度のカメラでの撮影が必要となる。そのため、従来手法では簡易的にボールストライク判定を行うことは難しいと考えられる。そこで、我々は一般利用を想定し、低コストで簡易的に野球のボールストライク判定を行うために、球審視点映像からストライクゾーン推定とボール軌道推定を組み合わせるアプローチを提案する。

本研究の提案手法は、使用するカメラ台数を1台とし、機器の導入環境が整っていない施設に適用することを想定する。また、主な使用用途としては少年野球や草野球を対象として想定する。

## 2. 関連研究

### 2.1. 野球の投球映像解析

ABSのようなボールストライク判定を試みた研究がいくつか存在する。野球のボールストライク判定を自動的に行う方法として、複数台のカメラを用いる方法や、野球中継視点映像を用いる方法がある。しかし、複数台のカメラを用いる方法では、カメラの時間同期や位置関係のキャリブレーションが必要となり、設置条件やシステムが複雑化する可能性がある。また、野球中継視点映像を用いる方法では、遠方の視点から望遠かつ高精度のカメラでの撮影が必要となる。実際にその視点の映像を取得するにはフィールド内にカメラを配置する必要があるため、プレーの妨げになってしまう。そのため、従来手法では簡易的にボールストライク判定を行うことは難しいと考えられる。

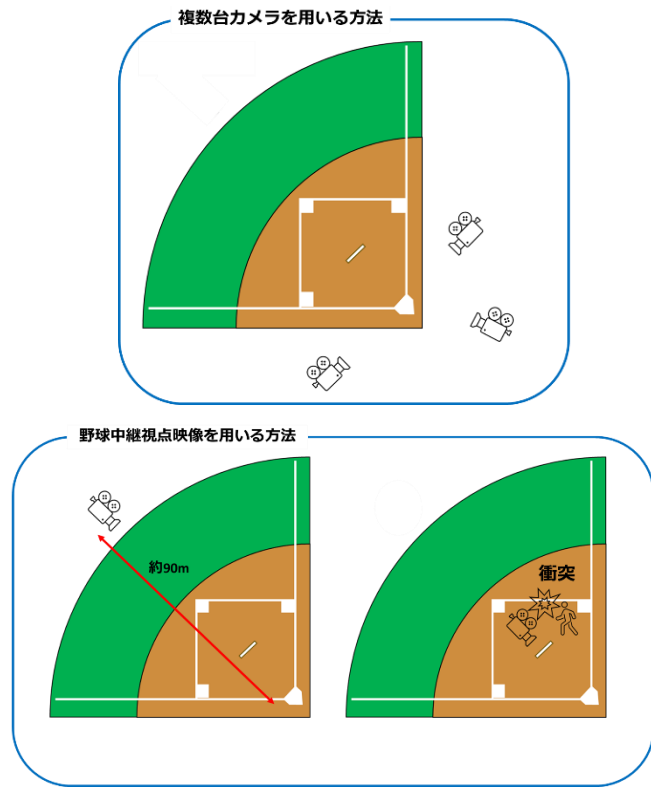


図1 従来の野球投球映像解析

### 2.2. 透視投影変換

本研究では、1台のカメラから三次元の情報を得るために透視投影変換を利用する。透視投影変換は実世界に存在する物体を二次元平面に投影する方法である[4]。\$(X, Y, Z)\$を実世界座標系の三次元座標、\$(u, v)\$を画像平面に投影された点の座標とする。カメラの内部パラメータ行列\$A\$は、画面中心座標を\$(c\_x, c\_y)\$、カメラのピクセル単位で表される焦点距離を\$(f\_x, f\_y)\$とすると式(1)で表される。

$$A = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

カメラの外部パラメータ行列\$[R|t]\$は、カメラの回転行列と並進ベクトルを用いて式(2)で表される。

$$[R|t] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式(1)、式(2)より、実世界での物体の三次元座標と画像平面での二次元座標の関係は正規化パラメータ\$s\$を用いて、式(3)のようになる。

$$s \cdot \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 2.3. Blaze Pose

Blaze Poseは人間の姿勢をリアルタイムで推定することができる三次元姿勢推定モデルである[5]。33のランドマークが検出され、各ランドマークの三次元座標値と信頼度が出力される。本研究では、打者依存のストライクゾーン算出に使用する。

## 3. 提案手法

### 3.1. 概要

まず、使用するカメラのパラメータを求めるため、ホームベースを用いたカメラのキャリブレーションを行う。次に、Blaze Poseを用いて打者依存のストライクゾーンを算出し、Yolov8と透視投影変換を用いてボール軌道を算出する。最後に、算出したストライクゾーンとボール軌道を用いてボールストライク判定を行う。提案手法の概要を図2に示す。

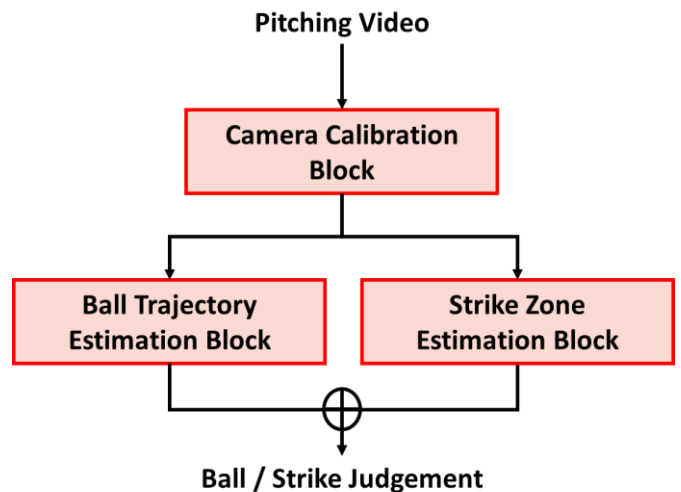


図2 提案手法概要

### 3.2. カメラキャリブレーション

ホームベースを利用し、カメラのキャリブレーションを行う。カメラキャリブレーションに使用する値を図3に示す。初めに、ホームベースの大きさ情報と画面上の大きさを基にカメラの画角を算出する。算出した画角を利用し、カメラの各パラメータを推定する。画面中心座標を $(c_x, c_y)$ とすると、カメラの画角はそれぞれ式(4)、式(5)で表される。そして、カメラの内部パラメータは、カメラの画角を利用して式(6)で表される。

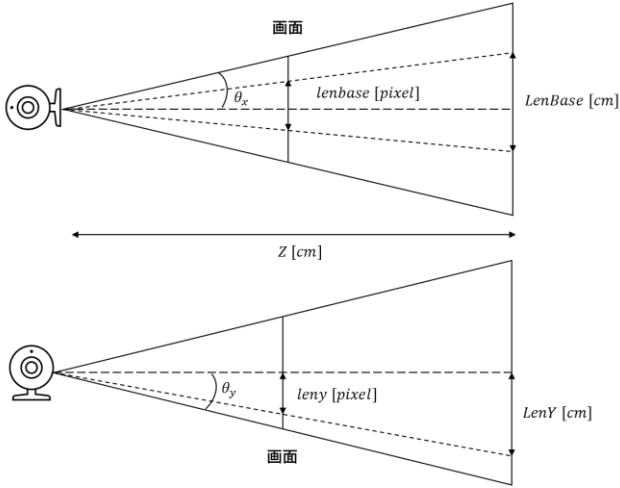


図3 カメラキャリブレーション

$$\tan \theta_x = \frac{c_x \text{LenBase}}{Z \text{lenbase}} \quad (4)$$

$$\tan \theta_y = \frac{c_y \text{LenY}}{Z \text{leny}} \quad (5)$$

$$A = \begin{bmatrix} c_x & 0 & c_x \\ \tan \theta_x & 0 & c_x \\ 0 & c_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

### 3.3. ボール軌道推定

取得した投球映像に対し、Yolov8を利用してボールを検出する。検出したボールの画面内での大きさと実際の大きさの対応関係よりボールのZ座標を推定する。推定したZ座標を基に、検出したボールのxy座標を実世界座標に変換する。これを各検出結果に対し実行することで軌道を推定する。実際のボールサイズをRBS、画面内でのボールサイズをSBSとすると、ボールのZ座標は式(7)で表される。ここでは、モーションブラーの影響を考慮し、画面内でのボールサイズはx軸方向を利用する。また、ボールのXY座標は式(8)、式(9)で表される。

$$Z = \frac{c_x RBS}{\tan \theta_x SBS} \quad (7)$$

$$X = \frac{Z \tan \theta_x (x - c_x)}{c_x} \quad (8)$$

$$Y = \frac{Z \tan \theta_y (y - c_y)}{c_y} \quad (9)$$

### 3.4. ストライクゾーン推定

打者依存のストライクゾーンの推定のため、Blaze Poseを用いて打者骨格を検出する。検出した座標値からストライクゾーンの上端と下端を算出する。ストライクゾーンの上端は両肩と両尻のY座標の平均値とし、下端は両膝のY座標の平均値とする。

## 4. 実験

### 4.1. データセット

本実験では、球審視点により撮影された投球映像のデータセットを作成した。カメラ位置はホームベースから後ろに300[cm]、高さ125[cm]の位置で固定して撮影を行う。実験に用いた投球映像は様々なコースに投げ分けた30投球である。球速は少年野球の平均球速である約70[km/h]を想定した。実験における正解判定は、レーザー墨出し器を5台使用し、横方向にもカメラを設置して撮影し、決定する。投球データセット撮影時の機器配置を図4、撮影したデータセットの一例を図5に示す。カメラ1は球審視点の映像であり、提案手法による判定と正解判定の決定に利用する。また、カメラ2は正解判定の決定と従来手法の再現に利用する映像を取得する。正解判定の決定は、ボールがホームベース上を通過するタイミングで、レーザーがボールに照射されているかどうかで決定する。実験に利用する投球の正解判定を表1に示す。

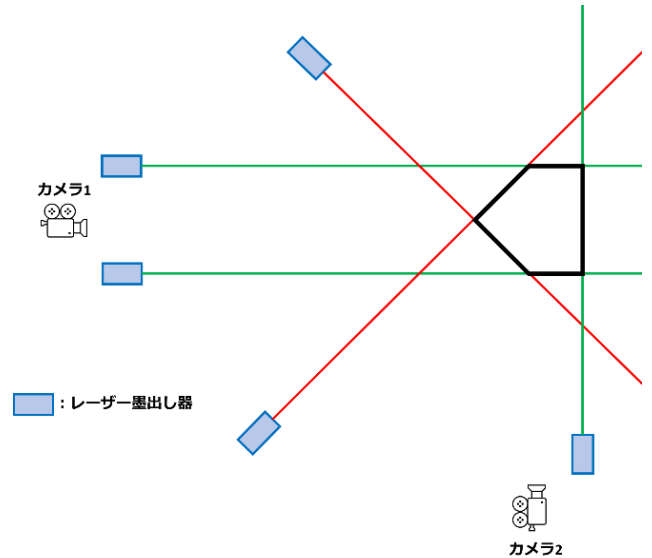


図4 データセット撮影時の機器配置

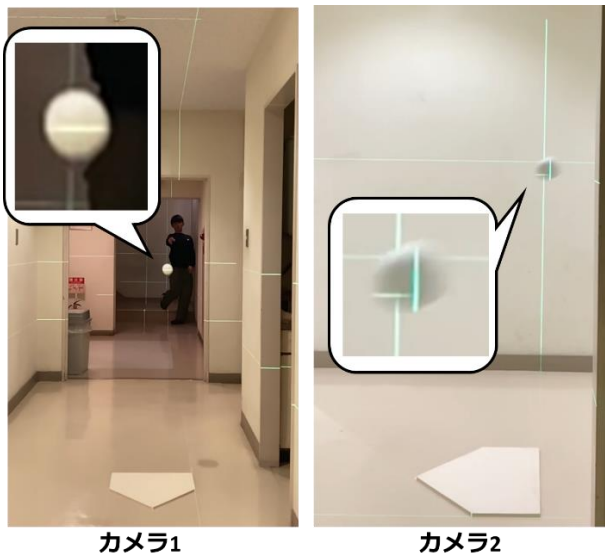


図5 レーザー墨出し器を用いた正解判定決定法

表1 データセットの判定内訳

	正解判定	
	ストライク	ボール
投球数	18	12

#### 4.2. 実験結果

従来の二次元でストライクゾーンを再現する手法（従来手法1）と、複数台カメラを用いた手法（従来手法2）と、提案手法によるボールストライク判定結果を分類評価指標により、評価する。ボールストライク判定を二値分類とみなし、4種類の分類評価指標で評価した結果を表2に示す。表2より、提案手法の評価結果が、複数台カメラを使用する従来手法に近い値を示した。

表2 ボールストライク判定評価結果

評価指標	従来手法1	従来手法2	提案手法
正解率	80.0	96.7	93.3
適合率	72.2	94.4	94.4
再現率	91.7	100	91.7
F値	80.8	97.1	93.0

#### 4.3. 提案手法による判定三次元シミュレーション

提案手法を用いて再現したボール軌道とストライクゾーンのシミュレーションの一例を図6に示す。図6より、ボール軌道とストライクゾーンを三次元で再

現し、判定できていることが確認できる。青色の球が投球されたボールを示し、黒線がボール軌道を示している。また、緑の五角柱はストライクゾーンである。

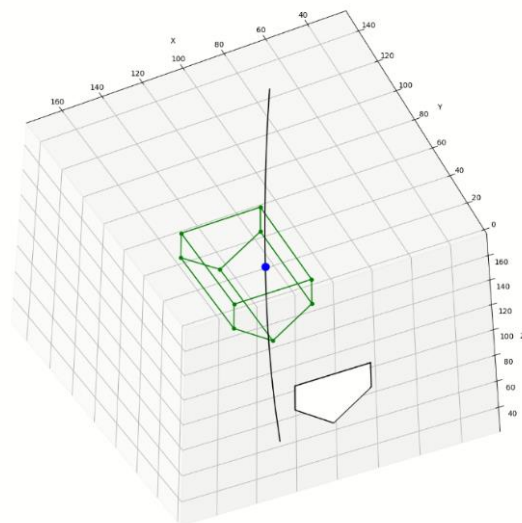


図6 三次元シミュレーション例

#### 5. まとめ

本研究では、アマチュアや少年野球を対象として想定したボールストライク判定手法を提案した。1台のカメラのみを使用する本手法により、三次元でのボールストライク判定が可能であることを確認した。今後は、データセットの投球数を増加させ、従来手法との精度比較を行い、コースごとの判定結果の違いを追求する。また、実用化に向け、判定処理のレートの削減手法を検討する。

#### 文献

- [1] Matthew Whitrock, "Developing MLB's Automated Ball/Strike System (ABS)", Published in MLB Technology Blog(2021)
- [2] S. Miyata, H.Saito, K.Takahashi, D. Mikami, M Isogawa, H. Kimata, "Ball-Tracking Based Temporal and Geometrical Camera Calibration and Reconstruction the 3D Trajectory for Baseball", IPSJ-CVIM, vol.2017-CVIM-205, no.40, pp.1-5, Jan. 2017.
- [3] Y. Shimano, Y. Kuwano, M. Takahashi, and H. Kaneko, "Pitch Location Estimation from Broadcast Baseball Video", NHK Science & Technology Research Laboratories, ITE Winter Annual Convention. 2023.
- [4] Z. Zhang, "A flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.22, no.11, pp.1330-1334, Nov. 2000.
- [5] V. Bazarevsky, I. Grishchenko, K. Raveendran, T. Zhu, F. Zhang, M. Grundmann, "BlazePose: On-device Real-time Body Pose Tracking," arXiv, Jun. 2020.