

高速度カメラを用いた変化球の回転解析とその可視化

井尻敬^{1,2} 中村篤志¹ 酒井道³ 平林晃¹ 宮寄武³ 姫野龍太郎²

概要. 野球の試合において投手の投球は得失点に関わる重要な要素であり、投手は打者を抑えるため速度や軌道の異なる変化球を組み合わせる。この変化球の定量的評価や練習には、投球された変化球の詳細な解析が必要である。そこで本研究では、高速度カメラを用いた変化球の『回転軸・速度』を自動解析できるシステムを提案する。具体的には、マウンド後方に配置した高速度カメラにより投球を撮影し、ボール動画像に現れる繰り返しを検出することで、ボールの回転情報を解析する。提案法は、ボールの模様依存しないため特別なマーカーを必要とせず、一連のフレーム情報を利用することで高精度の解析を実現した。解析は自動化されており、動画の読み込み後、十数秒程度で解析を行える。

1 はじめに

現在、日本のプロ野球では、ストレートを含む10種類以上の変化球が知られ、投手は打者を打ち取るため、速度や軌道の異なる投球を組み合わせる。このとき、投球の速度や緩急については、球速という客観的指標が用いられる。しかし、ボールの回転に起因する軌道の変化やその打ちにくさは『きれ』や『伸び』という曖昧な言葉でしか表現されていない。

一般的に、変化球の軌道変化はボールの回転により引き起こされる。フォークやナックルなどの特殊な変化球を除けば、軌道変化の量はボールの回転速度に依存し、軌道変化の方向はボールの回転軸に依存する。投手がある変化球を練習する際には、必要なボールの回転軸・速度、及び、実際投球した回転軸・速度の情報を知ることが有効だと考えられる[1]。

関連研究. 高速度カメラを用いたボールの回転解析に関する過去の研究には、連続フレーム間の回転を考慮した画像位置あわせに基づく方法[2,3]や画像データベースと各フレームのマッチングを行なう手法[4]などが知られる。しかし、これらの手法は、動画像内のボール位置の手動指定など、ユーザの手作業が必要なものである。また、既存手法では、投球直後に選手に結果を提示するような練習中の応用は行なわれていない。

そこで、本研究では、変化球の変化量・変化方向を定量的に表現するため、また、変化球の練習を支援するため、『変化球の回転軸・回転速度を投球シ-

ンから取得するシステム』を提案する。本研究は硬式球を想定し、マーカー等の付加は行なわない。提案法では、投手後方に配置した高速度カメラ(図1a)により投球の様子を撮影し(図1b)、この動画像を解析することで、回転情報を取得する(図1c)。提案システムは、カメラから計算機に動画を転送した後、十数秒ほどで動画を解析し結果を出力できる。今後、カメラと計算機間の通信部分を実装することで即時フィードバックを行えるシステムを目指す。

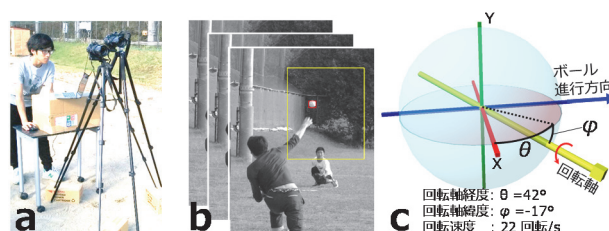


図1. 高速度カメラを利用した回転解析

2 提案手法

2.1 撮影条件

本研究では、マウンド後方約15mに固定した高速度カメラ(Sony RX10II)により投球シーンを撮影する。入力動画はグレースケールで、リリースからキャッチまでを含むように時間軸方向について粗くトリミングされているものとする。また、リリース時のボール半径 R_1 、キャッチ時のボール半径 R_2 、動画中のボールが通る矩形領域(図1b黄線)は、撮影前に指定されているものとする。高速化のため以下の計算はこの矩形領域のみに対して行われる。

2.2 高速度動画像の解析

回転の解析は、1)トラッキング、2)回転速度解析、3)回転軸解析の3ステップからなる(図2)。

Copyright is held by the author(s).

- 立命館大学 情報理工学部 メディア情報学科
- 理化学研究所
- 電気通信大学 大学院 情報理工学研究科 知能機械工学専攻

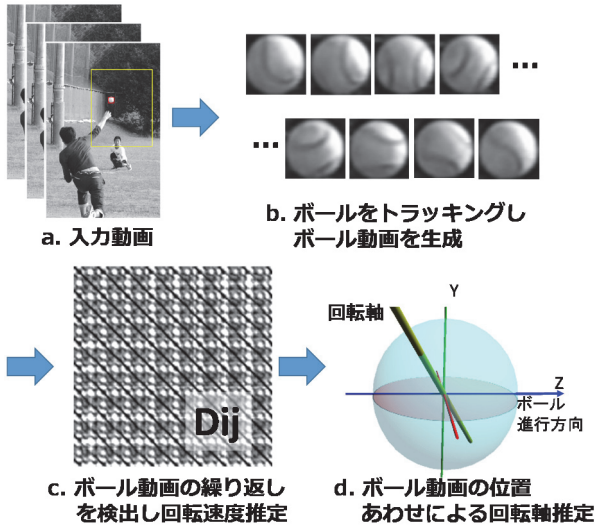


図 2. 計算法の概要

トラッキングステップでは、ボールを追跡し、ボールがびったり収まる正方形の『ボール動画(図 2b)』を生成する。動画像全体の平均画像を背景画像とし、背景差分法により動画内で動きのある部分が前景となる二値化画像を得る。さらに、得られた二値画像に Hough 変換を施すことでボール領域を取得する。このとき、画像内のボール半径の情報 R_1, R_2 を利用することで、Hough 変換の探索範囲を限定し高速化を図る。詳細は省略する。

回転速度の解析ステップでは、ボール動画から回転速度を検出する。陰影除去が施されたボール動画を $I_i, i = 0, 1, \dots, N-1$ とする。ボールは回転運動をしているため、ボール動画には数フレーム毎に似た画像が現れると考えられる。そこで、 i 番目と j 番目のフレームの差分 D_{ij} を計算する、

$$D_{ij} = \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} G^\sigma(\mathbf{x}) (I_i(\mathbf{x}) - I_j(\mathbf{x}))^2.$$

ただし、 $I_i(\mathbf{x})$ は i -フレームの画素 \mathbf{x} における輝度値、 $G^\sigma(\mathbf{x})$ は画像中心 (c_u, c_v) を原点とする標準偏差 σ のガウス関数である。図 2c は実際のボール動画に対し D_{ij} を計算した例で、斜め方向に黒い直線(画像の差分が小さい部分)が周期的に現れる。この縞の間隔がボールの1回転に相当し、これを周波数解析の手法を用いて検出する。詳細は省略する。

回転軸解析ステップでは、以下の最適化問題を解くことで、ボールの回転軸を推定する、

$$\min_{\theta, \phi} \sum_{i=0}^{N-1-k} \sum_{\mathbf{x} \in \Omega} G^\sigma(\mathbf{x}) (I_i(\mathbf{x}) - I_{i+k}(\mathbf{w}(\mathbf{x}, \theta, \phi)))^2 \dots (1)$$

ここで、 θ, ϕ は回転軸を表す角度(図 1c)、 k はフレームのオフセットパラメータ、 $\mathbf{w}(\mathbf{x}, \theta, \phi) \in \mathbb{R}^2$ は、三

次元回転を考慮して画素位置 $\mathbf{x} = (x_u, x_v)$ を移動する関数である、

$$\mathbf{w}(\mathbf{x}, \theta, \phi) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \mathbf{R}(\theta, \phi, kw_0) \begin{pmatrix} x_u \\ x_v \\ z(\mathbf{x}) \end{pmatrix}.$$

ただし、 $\mathbf{R}(\theta, \phi, w_0) \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$ は、軸 (θ, ϕ) ・角度 w_0 の回転行列、 w_0 は1フレーム当たりの回転角度、 $z(\mathbf{x}) = \sqrt{R_1^2 - (x_u - c_u)^2 - (x_v - c_v)^2}$ は平行投影を仮定した画素 \mathbf{x} の奥行である。式(1)において、三次元的な回転に伴い球面の裏側に移動する画素 \mathbf{x} は計算時に無視する。

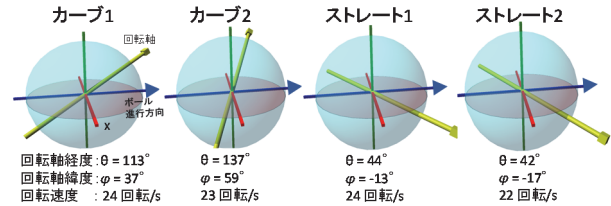


図 3. カーブとストレートの解析結果。

3 結果と考察

硬式野球経験のある大学生がストレートとカーブを2球ずつ投球した動画の解析結果を図 3 に示す。各動画の解析は十数秒で終了し、提案法が推定した回転軸・回転速度は、動画から目算した結果とおおよそ一致した。

現在のシステムでは、解析自体は10秒程度で終わるものの、高速度カメラから計算機へ動画データを転送する部分に時間と手間を要する。今後、高速度カメラと計算機を直接つなぐことで、投球後、回転の情報を即提示できるシステムの実現を目指している。また、詳細な精度評価も今後の課題である。

謝辞. 実験を手伝っていただいた、電気通信大学野球部の皆様、立命館大学 野上直起氏、金子知憲氏、高木将樹氏(卒業生)に感謝いたします。

参考文献.

- [1] T. Nagami, et. al. Spin on Fastballs Thrown by Elite Baseball Pitchers. *Med Sci Sports Exerc*, 43(12), 2321-2327, 2011.
- [2] H. Shum and T. Komura. Tracking the Translational and Rotational Movement of the Ball Using High-Speed Camera Movies, *Proc. ICIP 2005*, 1084-1087, 2005.
- [3] T. Tamaki, et. al. Inverse Composite Alignment of a sphere under orthogonal projection for ball spin estimation. 情報処理学会研究報告 CVIM, 178, 13, 1-5, .
- [4] T. Inoue, et. al. Saito. Estimation of Rotational Velocity of Baseball Using High-Speed Camera Movies. *IEEJ*, 131(4) 2011.