

民生用デジタルカメラによるボールの3次元軌道計測

3D measurement of ball orbit with consumer digital cameras

発表者：野村 昌稔

指導教員：坪井 一洋

1 はじめに

近年、スポーツ中継の技術は飛躍的に向上し、様々な映像技術が中継に用いられるようになった。メジャーリーグ中継では2006年にPITCHfx®というシステムが導入された。このシステムは投手が投げるボールの位置をカメラで追跡するシステムであり、これによって投球位置や軌道、スピード、変化、球種などを計測することが可能となった[1][2]。

サッカーやテニスに導入されているHawk-Eyeは試合中のボールの位置や軌道を分析し、それらをCGで再現するシステムであり、中継だけでなく審判の判定補助にも使われる。

しかし、これらは高感度のハイスピードカメラやレーザーカメラを使用しており、非常にコストがかかるため一般での使用が難しい。

本研究では、安価な民生用のデジタルカメラを使用して撮影するシステムを検討し、野球の投手が投げるボールの3次元軌道計測を行うことを目的とする。

2 3次元計測の原理

2.1 1台のカメラによる計測

福岡工業大学の溝田研究室では、1台の望遠レンズを用いたハイスピードカメラによる3次元軌道計測に成功している。ここで、その手法を紹介する[3][4]。

投手の投げるボールを解析するため、18.44 m離れた場所から発射装置によりボールを発射する。ボールが発射されてからホームベースの間でできるだけ長い距離でピントが合うように、カメラは発射装置から約80 m（ホームベースの後方60 m）離して設置する。

解析には画像解析ソフトを使用し、追跡したボールの座標をピクセルデータで求める。このピクセルデータを物理的位置に変換する必要があるが、ボールの直径（70.25 mm）に対応するピクセル数を求めて、それを基にしてボールまでの距離を算出する。

2.2 ステレオ法

ステレオ法とは3次元計測に用いられる代表的な手法であり、対象物を2台のカメラで異なる方向から同時に撮影することで3次元の位置情報を得る手法である。

2台のカメラで撮影すると2枚の画像上では対象物の位置が異なる。このような対象物の画像上のずれを視差と呼び、この視差を利用し3次元座標を算

出する。図1に示すように対象物の座標をそれぞれ $p_1(u_1, v_1)$ 、 $p_2(u_2, v_2)$ とすると視差は $d = u_1 - u_2$ となる。ここで u_1 、 v_1 、 u_2 、 v_2 はピクセル数で表した画像上の座標である。また、 f は焦点距離、 l は基線長（カメラ間の距離）である。これらより以下のように対象の座標 $P(x, y, z)$ が求まる[5]。

$$x = \frac{u_1}{d} \cdot l, \quad y = \frac{v_1}{d} \cdot l, \quad z = \frac{f \cdot l}{d}$$

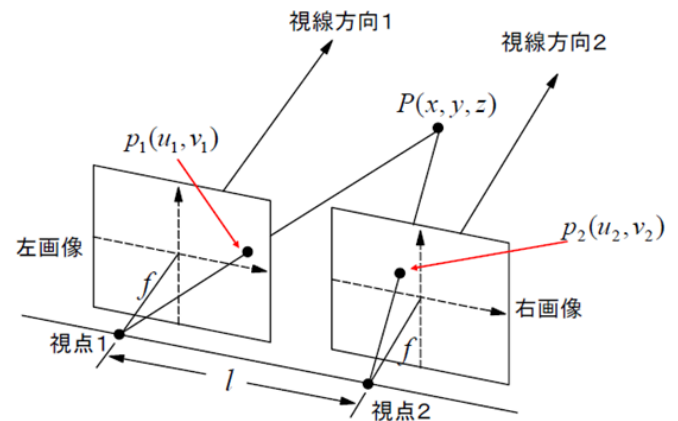


図1 ステレオ法の原理[5]

3 実験概要

本研究では安価な市販のカメラを使用することから、ステレオ法を用いて計測する。撮影にはカシオ社製のEXILIM EX-ZR300を2台使用した。

動画の撮影は茨城大学水戸キャンパスのグラウンドで行い、実際にマウンドの上から投球した。横方向をX、縦方向をY、奥行き方向をZとする。マウンドからホームまでの距離は18.44 m、マウンドからカメラまでは21 mである。カメラの高さ110 cm、カメラ間の距離 $l = 20$ cm、焦点距離 $f = 19.4$ mm、撮影速度240 fpsである。

軌道の違いを比較するためオーバースローからのストレート、カーブ、スライダー、ナックル、サイドスローからのストレートの5種類の球種を撮影した。図2に撮影方法を示す。

解析には動画分析ソフトであるPV Studio 2Dを使用した。解析対象の移動値を検出するモーショントラック機能を利用し、5フレーム毎にボールの中心点を追跡することで軌道を求めた。

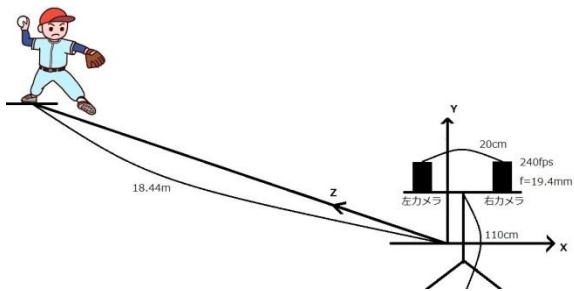


図2 撮影方法

4 実験結果

解析結果を図3～図5に示す。図3は上方から見た軌道、図4は1塁側から見た軌道、図5はキャッチャー側から見た軌道となる。

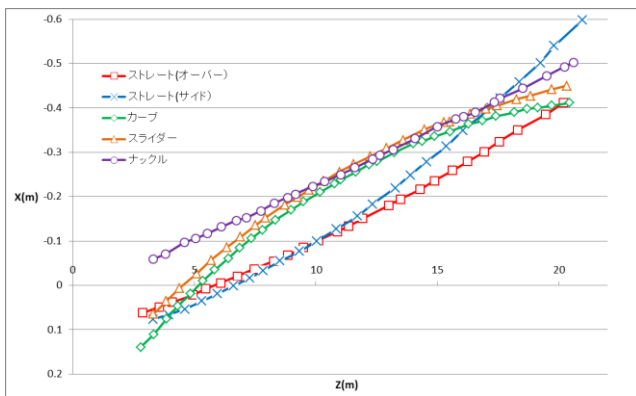


図3 上方から見た軌道

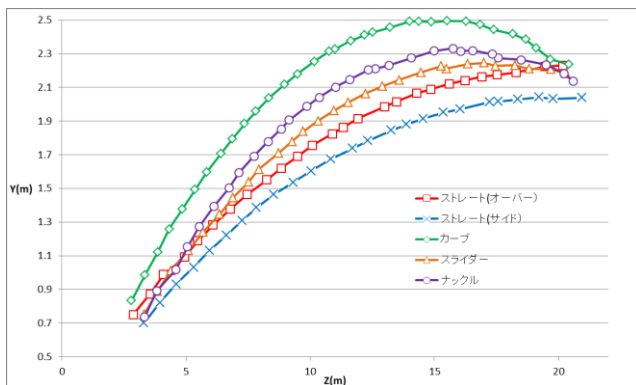


図4 1塁側から見た軌道

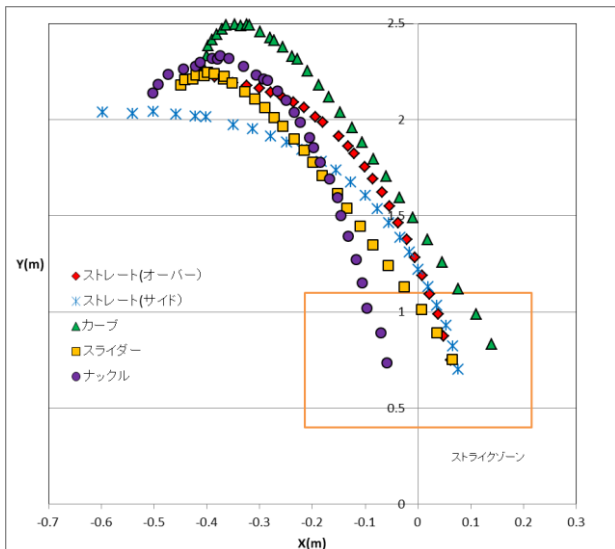


図5 キャッチャー側から見た軌道

ここで各球種におけるBRK量を調べた。BRKとは実際のボールの軌道と、リリースポイントから本塁に達した時のボールの位置を結んだ直線との距離の最大差を表す指標である[6]。BRK-Xを横方向、BRK-Yを縦方向の変化とする。BRK-Xが正值となる時ボールの軌道は3塁側へ向かうことを意味し、負値となる時ボールの軌道は1塁側へ向かうことを意味する。その結果を表1に示す。

表1 各球種のBRK 単位 cm

球種	BRK-X	BRK-Y
ストレート (オーバー)	3.7	39.0
ストレート (サイド)	8.9	40.2
カーブ	-12.1	84.7
スライダー	-8.9	56.8
ナックル	0.8(-0.5)	74.1

ストレートはオーバー、サイドともにBRK-Yは約40cmであるがBRK-Xに関してはサイドの方が大きくなっている。これはサイドから投げることで、よりシュート回転するためだと考えられる。

他の球種ではボール起動と直線の差は常に同符号となるが、ナックルでは符号が変わっている。例えばBRK-Xは+0.8 cmと-0.5 cmとなり、このことからナックルの軌道が左右に変化することが分かる。

BRKを用いることで、ボールの「キレ」や「ノビ」を数値で評価することが可能となる。BRK-X及びBRK-Yが大きいボールは変化量が多く、BRK-Yが小さいボールはノビのあるボールであるといえる。

5 まとめ

本研究ではボールのように移動する物体の3次元軌道を市販のデジタルカメラを用いて計測する方法を検討した。安価な市販のカメラを使用することからステレオ法を用いて計測を行った。そして、この方法を用いて実際に野球ボールの3次元軌道を計測することができた。さらに球種による軌道の違いを定量的に示すことができた。

参考文献

- [1]SPORTVISION, <https://www.sportvision.com/>
- [2]Mike Fast:What the Heck is PITCHF/x?, The Hardball Times Baseball Annual 2010
- [3]小倉聡樹、溝田武人：高速度カメラを用いたナックルボールの3次元飛翔軌道解析, 可視化情報学会誌, Vol. 25, Suppl. No. 1, pp. 359-360, 2005年
- [4]國料隆義、塚原和洋ほか：高速度カメラによるスポーツボールの飛翔撮影と軌道解析, 911 日本機械学会九州学生会第37回卒業研究講演会 (No. 068-2) 論文集, pp. 393-394, 2006年
- [5]長橋宏：知的画像処理, 東京工業大学講義ノート <http://www.ocw.titech.ac.jp/index.php?module=General&action=Download&file=20092228824024-62-0-38.pdf&type=cal&JWC=20092228824024>
- [6] Gameday, <http://gameday.mlblogs.com/>