

# 野球ボールの追跡と到達点の予測

村井祐一 番匠一雅 山本和弥 野田健一

拓殖大学工学部工学研究科

〒193 東京都八王子市館町 8 1 5 - 1

E-Mail : murai@nm.takushoku-u.ac.jp

野球のピッチャーが投げ、バッター方向に飛来するボールの映像を2台のTVカメラでステレオ観測し、ボールの時々刻々の空間位置の精密計測、ボールのバッター平面到達位置の予測、ロボット捕球、ロボット打球等の高度処理をさせる技術のアルゴリズムを開発した。従来技術の飛球速度計測、ストライクやボールの判定から踏み出して、カーブやシュート、落ちる球や浮き上がる球などの変化球に対する細かい正確な飛跡の客観的計測データを得たり、ロボットキャッチャーによる捕球、ロボットバッターによる打球をも可能とした。ボールを構成している画素の連続性に基づくボール中心点決定方法、ボール到達座標予測を使用してボール探索領域の限定を行うアルゴリズムなどを考案し、各種ボール到達位置予測アルゴリズムの実験および比較検討による最適方式の決定を行った。さらに連続して得られた3次元ボール移動軌跡からボール最終到達点の予測を行い広汎な環境条件において、投手が投げたボールを追跡し、到達点を予測するシステムのアルゴリズムを開発し、実験によって動作の確認が得られたので報告する。

## Baseball trajectory pursuit and arriving point forecast

Yuichi Murai, Kazumasa Bansho, Kazuya Yamanoto and Ken-ichi Noda

Computer Science Dept. Faculty of Engineering Takushoku University

Faculty of Engineering, Takushoku University

1, Tate-machi 815, Hchiouji-shi, Tokyo, 193 Japan

E-mail: murai@nm.takushoku-u.ac.jp

Pursuing algorithm of linear prediction and a color grade stressed integration for a flying baseball image is utilized to real-time measurement of its trajectory. After the ball image of video screen on each TV monitor of stereo cameras is enhanced by cancelling background scene image in specified limited area, the true ball image is searched on the screen and their coordinates are located. In searching process, searching area on the TV screen area is limited within less than one thousandth of the TV screen area at the least, by using the linear prediction. Ball arriving point forecast algorithm on batter plane are experimentally demonstrated by using parabolic equation approximation, and forecast accuracy less than a few millimeters is estimated.

## 1. はじめに

移動物体を発見し、動作パターンや形状の時間的変化を求めるために、TVカメラにより連続して撮られた画像を高速に解析する技術が取り上げられるようになった。ピンポンボールの飛跡観測や、ロボットラケットによる打球の可能性も示された[1]。また移動物体の即時観察や、移動する映像中の特定物体または特定像の検出なども行われている[2]。

この移動物体の映像情報処理技術の応用分野の一つに飛行するボールの追跡および捕打球の問題がある。これは野球のピッチャーが投げるボールの映像を2台のTVカメラで観測し、ボールの時々刻々の空間位置の精密計測、ボールのバッター平面到達位置の予測、ロボット捕球、ロボット打球等の高度処理をさせようというものである。これらが実現すれば、ストライクやボールの機械判定、球種の判断、投手の能力の評価および訓練に極めて有効であると考えられる。[3]~[5]

観測対象となる野球ボールは投球の際に投手が回転を与えるため空気との摩擦によって多種多様な飛跡の変化を起こし打者を苦しめる。ステレオビジョンを利用して、このように微妙に飛行方向を変化させながら飛行するボールの詳細な飛跡の観測およびロボット捕球、ロボット打球を行おうとすると、高速で計測精度の高い移動物体追跡アルゴリズムおよび多方面の画像処理技術を複合する必要がある。さらに、左右両テレビ画面上に得られるボール像から、ボールの3次元空間位置を決定する際の精度や、即時処理に必要な処理速度が実用レベルで得られるかについてそれぞれ検討する必要がある。そこで、ボールを構成している画素の連続性に基づくボール中心点決定方法、ボール到達座標予測を使用してボール探索領域の限定を行うアルゴリズムなどを考案し、各種ボール最終到達位置予測アルゴリズムの実験および比較検討による最適方式の決定を行い、ほぼ目的を達成したため報告する。

## 2. システムの構成とアルゴリズム

本システムは図1に示すように、ステレオ配置されたカメラ、画像処理部、計算部、ロボットキャッチャー、ロボットバッターから構成される。なお、左右とはキャッチャーからピッチャーを見ての左右であると規定しておく。

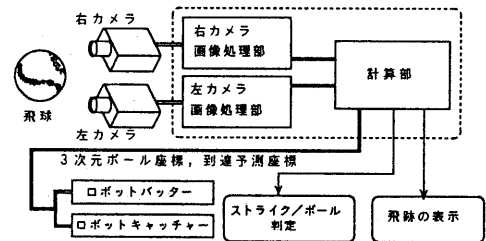


図1:システム構成図

左右のカメラで撮影された画像は量子化され、各画像処理部に入力される。この処理部ではあらかじめ撮影しておいた背景画像と、入力画像とのRGBそれぞれの階調成分の差分をとりボール像の抽出をおこなう。次にボール中心点座標を決定し計算部に対し座標を送る。計算部側では各画像処理部から送られたボール中心点座標より3次元空間におけるボール座標の計算を行い、連続した空間座標値から、ボールのバッター平面上の到達位置の予測やロボット機器に現在のボール座標と予測到達座標を送出する。

### 2.1 ボール像の認識

移動物体の抽出には背景除去が有効であり、本研究でも積極的にカラー画像間における背景除去を行い移動物体の抽出に利用している。しかし背景除去を行わずに自然画像中から直接ボール像を抽出することが出来れば、背景除去に必要とするシステムの負担を軽減できるため、システム全体の高速化が図れるという利点がある。また背景除去後の画像中からボール像を抽出する際にも自然画像から直接ボール像を取り出すことの出来る能力を持つボール抽出アルゴリズムは有効である。

したがって可能な限り自然画像からボール像の抽出を行うアルゴリズムの精度を高め、同時に限定した領域内での背景除去を併用することでシステムの高速化を図っている。以下に本研究におけるボール像抽出の際の利点を示す。

- ①ボールはピッチャーの手から放出されるため、ボール像の探索開始点をピッチャー近傍のみに限定することが出来る。
- ②野球ボールのモニター上での飛行方向は、右カメラでは右から左方向、左カメラでは左から右方向と、一定方向に決まる。
- ③ボールは基本的に重力および空気との摩擦以外の影響を受けないため滑らかな飛跡で飛行する。
- ④本システムにおけるボールのモニター上での大きさは最低4ピクセル、最大でも20ピクセルと限られた大きさである。
- ⑤ボールの色は撮影条件によって多少変化するが基本的に一様である。

したがって問題はこれらの条件を利用して、画像中から高速にボール像を発見し、より正確なボール中心点座標を得るかにかかってくる。

次にボール像抽出アルゴリズムについて説明する。自然画像および背景除去画像中からボール像の抽出を行おうとする場合、画像中よりボール像を構成している可能性があるピクセルを探しだし、それが実際にボール像を構成しているかどうかの判定を行う。ボール像を構成している可能性を持つピクセルの判定はボール基本色と呼ばれる基本となるボール像の平均的なRGBの色情報と検索対象となるピクセル間における色距離の比較を行うことで決定する。色距離とは基本色を原点とし検索対象となるピクセルのRGBそれぞれの成分を3次元空間に対して投影したものであり、このピクセルの原点からの距離を色距離と呼び、原点からの距離が短いものをボール像と判断している。さらに精度の向上を計るため、ボール像の判断を行う際に基準となる一点のみではなく、左右や上下などその点の近傍のパターンも含めて比較を行う方法や、ボール像と思われる領域に限定した小面積背景除去を用いたアルゴリズムの開発を行った。

## 2.2 ボール探索アルゴリズム

広範な範囲の探索を行うことでノイズ成分や他の移動物体などを誤認識する確率が高くなり精度の低下や処理速度の低下が起こる。また画像処理部のビデオメモリの構成上、ラスタ走査が最も効率がよいため、この特徴を考慮して次に示す2種類のボール探索アルゴリズムの開発を行った。

### (1)ピクセルの平均分布に注目する方法

画像内におけるボール像は基本色に近い値を持ったピクセルの集合体である。この点に注目し探索領域内において、基本色に近似したピクセルを検出し、そのx, yそれぞれの座標を加算する、座標の総和を検出したピクセルの総数で割ることによって、領域内における基本色に近いピクセルの平均中心座標を得ている。この方式では探索領域内に実際のボール位置と離れた地点にノイズ成分が存在している場合、取得されるボール座標位置の平均がノイズ側に引っ張られてしまうという弱点が存在する。

### (2)ピクセルの連続性に注目する方法

背景除去後の画像中において探索領域内をラスタ走査し、ボール像の候補となるピクセルが最も連続しているラインをボールの横方向の直径と等しいと考える。またボール像において横幅が最も広いラインは縦方向の中心も通っている。したがって、このラインの中心点をボールの中心とする。

## 2.3 予測と探索領域の限定

探索領域の限定を行うため図2に示すように、ピッチャーの手から投球されるボールを必ずとらえる待機領域をあらかじめ定めておき、ボールの放出を待つ。この領域内にボール像が検知されれば、中心点位置の計測を行う。計測された中心点を次の探索領域の中心点とし、以降このくり返しとなる。

探索領域限定アルゴリズムにより処理速度の大幅な短縮と、領域の限定による誤認識率の低下が期待できる。さらに撮影画像中におけるボールの進行方向は常に一定方向であるため、ボール中心

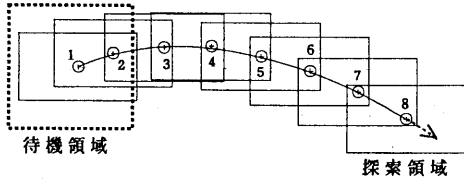


図2:探索領域

次に次フィールドにおける探索領域の中心を設定すると右カメラでは領域の右半分、左カメラでは領域の左半分を省略することができる。このため探索領域をさらに半分にすることができ、処理時間をさらに半減させる事が可能となる。しかし探索領域幅をボールが2フィールド間に移動する最大距離以下に設定した場合にボールを見失ってしまうという問題点がある。この問題を解決するために、2次元平面上でのボールの次フィールド存在位置予測処理を併用するアルゴリズムを考案し、シミュレーションと実験から探索領域をより小面積に限定することが可能であることがわかった。

ボールはいったんピッチャーの手を離れてしまえば、外部から力を加えることができないため、飛行中には重力と空気との摩擦が働くだけである。このため飛行中のボールはなめらかな飛跡を示し、飛行速度や方向が急激に変化することはない。したがって飛行しているボールの連続した3点 a, b, c について考えてみると、別の物体に衝突するなどの原因により速度や方向の急激な変化がない限り、ベクトルabとベクトルbcはほぼ等しいと考えられる。よって連続した2点a, bが取得できれば、c点の存在位置をある程度予測することができ、次フィールドにおける探索領域を予測点の近傍のみと、小面積に限定することが可能となる。

## 2.4 実空間座標への変換

ステレオビジョンによる物体の位置計測は三角測量で行われる。三角測量で精度の高い測定結果を得るためには、2台のTVカメラの位置・視角方向を正確に設置するのがオーソドックスな手法である。この時、カメラの設置場所や、高さを正確

に設定するのは困難ではないが、カメラの視角方向を目的の角度に正確に調整するのは、必ずしも容易ではない。そこで、撮影フィールド上に、空間座標が既知、または正確に計測可能な点を複数設置し、撮影画面内に映し出されたそれらの点を基準参照点とし、画像中から得られるボール中心点の位置計測を行った。今後これらの既知な点を基準点と呼ぶ。この方法によりボール座標の計測後に基準点を使いカメラ角度の補正を行うことができるため、必要以上にカメラ設置時における視覚方向に対する角度のずれを意識する必要がなくなる。また、画像取り込みの量子化周波数の不正確さによる縦横比の歪みの問題も解消される。

三角測量を用いてボールの空間位置を取得するには2台のTVカメラ間を通る直線とカメラとボール中心点を通る直線との角度を取得しなければならない。図3は、TVカメラに映し出される撮影フィールド図である。図に示すように撮影フィールド内のピッチャープレート上に1点、ホームベース上に2点の基準点を設け、その位置に基準点測定器を設置し、2台のTVカメラで撮影を行う。左右のTVカメラに映し出された、a, b, c 3つの基準点のx, y座標を記録しておく。次に基準点の撮影と同じカメラ位置で撮影された投球画像からボール像のx, y座標を取得する。三角測量に必要なボール座標に対する角度を取得するには、y軸方向の角度は図3に示す $|py-by|$ と $|cy-by|$ 、またx軸方向は $|px-ax|$ と $|cx-ax|$ の相対関係から求めることができる。

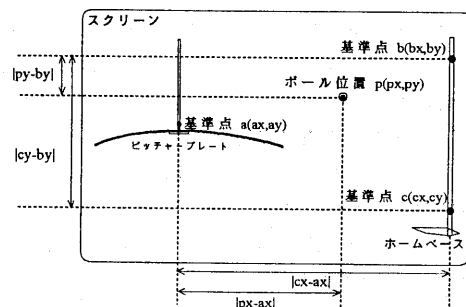


図3:撮影フィールド図

## 2.5 最終到達点の予測

人間がボールの捕打球を行う場合、ボールが描く飛跡から到達点を予測して実際の到達時刻以前にミットの移動を開始したり、バットのスイングを開始している。したがってロボットバッターやロボットキャッチャーを実現する場合も人間と同様にボールの最終到達位置を予測し、最終到達点に達する前に捕打球動作を開始する必要がある。

回転しながら飛行するボールは、偏向力の影響を受け、飛行ベクトルに変化が生じる。このような球種の事を変化球と呼ぶ。しかし、変化球により発生するボールの到達点のズレは最大でも60cm程度であり、これほどの変化球を投げる投手は少ない[6]。従って、x軸方向の最終到達座標は、ボール投球直後の方向ベクトルとキャッチャー平面との交点に近いと考えられる。また、ボールは重力の影響を受けるため、y軸方向に対しては偏向力と重力の影響を受け、その飛跡は大きく変化する。しかし、この2つの力の方向ベクトルは一定であるため幾つかのボール飛行座標が取得できた時点で、取得座標を2次程度の低次の代数式にあてはめて、方程式を解けばボールの描く曲線にかなり近似した関数が得られると考えられる。

予測処理の流れは次のようになる。飛行中のボールは絶えず動き続け、画像処理部から次々と新しいボール中心座標が送られてくる。x軸方向の予測の場合、数個のボール座標が求められた時点で、最小自乗法を利用して取得データの直線近似式を求める。求めた一次式は飛球の方向ベクトルを表しており、その直線とバッター平面が交差する位置をx軸方向の到達予測位置とする。新しいデータが取得されるたびに予測処理を繰り返すと予測結果は実際の到達点に収束すると考えられる。y軸方向の予測処理の場合、予測処理に最低でも3点のボール座標を必要とする。この3点の座標データが取得できた時点から予測処理が開始され、以降、順次得られるボール座標 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ から任意の3点を選び出し、その座標を使いy軸方向に対して2次代数式を解く。求めた2次代数式は

任意の3点全ての座標を通る軌道関数式であり、その式に到達点のz座標を与えてやればy軸方向の到達予測位置を得ることが出来る。

代数式を利用した予測は、ピッチャー近傍における予測結果は優れているが、ボール座標 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ に誤差が含まれていた場合、ピッチャー位置から離れるに従い、予測位置の誤差が増加してしまうという問題がある。この欠点を補うために、代数式を利用した予測と平行して、重力加速度を考慮した予測処理を行う。重力加速度を考慮した予測処理は次のようになる。

順次得られるボール座標 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ のy成分における最頂点とその時のz軸方向の移動速度Sを求める。ボールは最頂点到達後は水平方向に初速度Sで放出される物体と同じ動きをすると考え、そのボールの描く放物線を求め、放物線がバッター平面と交差する位置を到達予測位置とする。また最新のボール座標データを得る度に、z軸方向の速度の補正を行い、予測処理を繰り返す。重力加速度を利用した予測は代数式を使った予測に比べ、ピッチャー平面から離れた位置でも誤差の少ない予測結果が得られる、しかしフォーク、ホップなどのy軸方向に対し飛跡が変化する球種の場合、予測結果が最終到達点に収束していかない問題がある。そこで、ピッチャー近傍では重力加速度利用した予測を行い、キャッチャー近傍では代数式を利用した予測に切り替えることで、初期投球位置から精度の高い予測結果が得られる。

## 3. 実験

実験装置の計測精度を計る実験を行った。ボール抽出精度を計る実験では撮影画像中において人間が選択したボール像の中心点と各ボール中心点検索アルゴリズムを使用してコンピュータが選択したボール中心点との誤差について計測を行った。また左右のカメラから得られたボール中心点座標からボールの3次元空間座標を求める際の精度についての実験も行った。この実験では撮影フィールド上の既知な点に対し等間隔に計測対象物

を配置し、それを測定する事で実際の座標とどの程度誤差を生じるかを調べた。正確なボール到達点予測を行うためには飛行するボールの3次元空間座標を精密に測定する必要がある。しかし量子化誤差やカメラを設置する際の上下方向のずれにより生じる測定誤差の影響を受け、決定した3次元座標に多少の測定誤差が含まれるのは避けられない。実験は、基準点の座標を正確に計測するために極力起伏の少ない平地で行った。

### 3.1 ボール抽出精度の評価

20枚のボール像を含む自然画像中からボール像を抽出し、その中心点を求める実験を行った。各アルゴリズムにおけるボール抽出精度の評価を図4に示す。図中のs1は座標の平均分布に着目する方法、s2~s4は連続性に着目する方法である。また、s3は左右の座標もボール像認識の対象とする方法であり、s4は同じく上下左右の座標もボール像認識の対象とする方法である。s1とs2を比べると、座標の平均分布に着目する方法(s1)の方が良い結果が得られているが、s3を見ると左右の座標もボール像認識の対象とする事でs1と同程度の精度が得られた。また、上下左右の座標もボール像認識の対象とする方法(s4)では、ボール像が見つからないことがあり、精度が悪くなっている。

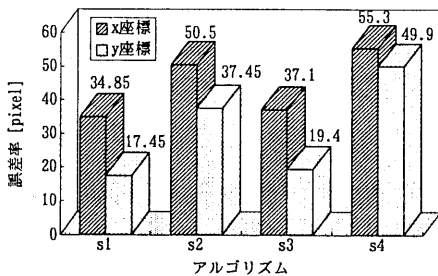


図4: 中心点決定アルゴリズムの評価

### 3.2 基準点と三角測量の精度の評価

図5はピッチャー、キャッチャー、カメラの位置関係を表す撮影フィールドの上面図および側面図

図である。2台のカメラはピッチャープレートからホームベースまでを結ぶ直線の延長上ホームベース後方10[m]の位置を中心として、その直線と垂直方向に各4[m]離れた位置に高さ1.6[m]で設置する。基準点の撮影のために地上200[mm]、1823[mm]の2ヶ所にマークを付けた棒状の基準点測定器を用意し、それをピッチャープレート上とホームベース上に設置した状態で撮影する。画面上に映し出された基準点測定器のマーク位置を基準点のx, y座標として記録しておく。同様に先程用意した測定器をピッチャー面からホームベースを結ぶ直線上に1[m]間隔で設置する。各地点の地上1823[mm]の点を既知な空間座標として撮影し、x, y座標を記録する。記録したそれぞれの座標と基準点の座標を用いて、既知の3次元空間座標を計算する。計測結果のx座標の理想値は0[mm]、y座標の理想値は1823[mm]である。実験の結果、理想値との誤差の平均はx軸方向では約8[mm]、y軸方向では約16[mm]程度であった。ボールの直径71[mm]から考慮すると、この値は実用レベルであると考えられる。z軸方向に対しては約35[mm]の値であったが、ピッチャーからキャッチャーまでの距離である18440[mm]から考えると、この値が全体に

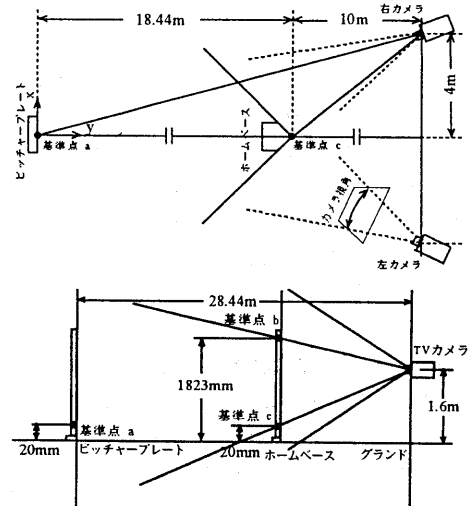


図5: 撮影フィールドの上側面図

与える影響は少ないと考えられる。また左右のカメラから得られたx, y座標を故意に1ピクセルずらして再び三角測量を行うとホームベース上では4[mm], ピッチャープレート地点で8[mm]の誤差が発生した。つまり, 1ピクセルあたりの量子化誤差は2~4[mm] (z座標によって変化する) となる。

カメラおよび基準点測定器を正確に設置することにより, 理論的にはボール3次元空間座標の決定時における量子化誤差を最大2~4[mm]に押さえることができると考えられる。

### 3.3 投球撮影実験

実際のボールの投球画像を撮影し, ボールの飛跡をコンピュータ上で再構成する実験を行った。投球はストレート, カーブ, フォークの球種を撮影し, キャッチャーがコースの判定 (ストライク/ボール, 高め/低め, 内角/外角) を行い, キャッチャーが判定した結果とコンピュータ上の具体的な空間座標値がどれだけ近いかを評価した。

キャッチャーの判断が中央高め, ボール, ストレートであった場合, 本システムで計測されたボール到達地点の高さは1330[mm]であり, キャッチャーが判断した様に高めの投球である。しかし, x座標に関してはホームベース中央から左に約500[mm]の座標に到達しており, キャッチャーが判断した中央とは離れている。投球直後のx方向の直線近似予測を行った際の到達点に比べ, 47.5[mm]右に到達していた。このことからストレートであっても多少スライダに似た変化を起こしていることがわかった。

キャッチャーの判断がインコース, ストライク, カーブの場合, 計測されたボールの到達地点は, 高さ630[mm]ベース上左350[mm]の位置であった。キャッチャーの判断ではインコースのストライクであったが, ホームベースの横幅が430[mm]であることを考慮するとインコースボール2つ分外れてボールである。直線近似予測の結果と比べ213.5[mm]右に到達しており, ストレートに比べ偏移量が大きい。ピッチャーが意識してカーブボール

を投げることにより, 横方向の偏移量を変化させることが可能であることがわかる。

キャッチャーの判断が中央低め, ボール, フォークの場合, システムで計測されたボールの落差は1480[mm], ボールの到達座標は高さ230[mm]ホームベース上左40[mm]であり, キャッチャーが判断した中央低めボール, 球種フォークと完全に一致した。

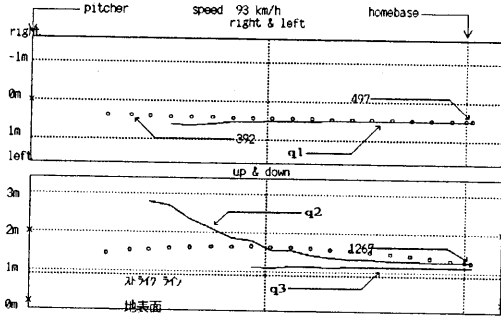
幾つかの投球を評価したところ, ボールの到達位置についてはキャッチャーとコンピュータとの判断が合わないことがある。特にx座標に関してはキャッチャーの判断よりコンピュータ上の値の方が左にずれることが多かった。しかし前節の三角測量の評価では, x軸方向の計測誤差平均は8[mm], y軸方向でも16[mm]であったことから, 球種の判断の違いはキャッチャー側に原因があると考えられる。

### 3.4 ボール到達点の予測実験

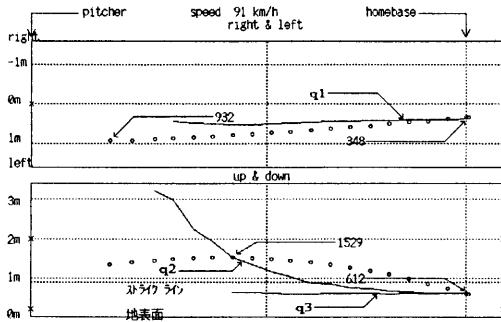
図6は前節で述べた3つの投球観測データに対して予測処理を行い, その結果をそれぞれの飛跡画像に重ね合わせた図である。各取得座標の時間的間隔は33.3[ms]である。予測には最小自乗法, 2次代数式, 重力加速度の3種類の手法を使い, それぞれの結果をq1, q2, q3として図に示す。1回の投球において取得できる連続したボール座標データ数は19個程度で, このことからボールの飛行時間は約630[ms]程度であることがわかる。

ボール到達座標の予測結果に関して評価を行うと, x軸方向の場合, ストレート, シュートではキャッチャーに到達する500[ms]前で100[mm]程度の予測誤差に収束し, 300[ms]前での予測誤差は, ほぼ0[mm]に近くなる。カーブの場合, 予測開始直後150[mm]程度の予測誤差が発生し, 250[ms]前で50[mm]程度まで収束するが, キャッチャー位置まで, 誤差は続く。このように, カーブなどのx軸方向の偏向力が強い球種の場合, 若干ではあるが予測結果の精度が低下している。

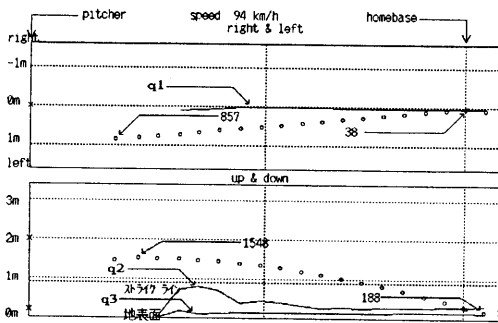
y軸方向の予測結果は, 代数式を使った予測の



ストレートの予測結果



カーブの予測結果



フォークの予測結果

図6: ボール到達点予測実験

場合、予測開始時点では1000[mm]以上の予測誤差が発生するが250[ms]前では約100[mm]、100[ms]前では0[mm]となる。重力加速度を使った場合の予測誤差は、予測開始直後からカーブでは0[mm]、シュートでは約160[mm]ストレートでは約250[mm]であった。重力加速度を利用した予測の場合、到達点近傍においても誤差の収束は見られない。ま

た、重力加速度を使った予測の場合、予測開始がボールの最頂点を検知してからとなるため最頂点が最終到達点に近い場合は予測開始が遅くなる。

x軸方向の予測は、現時点でも非常に精度が高く実用になるレベルであると考えられる。y軸方向の予測の場合、予測の前半では、重力加速度を後半では代数式を使ったアルゴリズムに切り替えることで、実用レベルでの予測が可能であると考えられる。

#### 4. むすび

TVカメラから得られるボールの飛行画像から高速にボール像の抽出を行い、その中心点座標を得るためのボール抽出アルゴリズムおよびボール中心点決定アルゴリズムの開発を行い、ボール像のリアルタイム追跡を行った。また、投球実験で得られた連続したボール3次元空間座標からボールの到達点の予測を行うアルゴリズムを開発し、実験によってその精度を示した。

#### 参考文献

- [1] 特別講演, 1992 IEEE/RSJ Int'l Conf. Intellig. Robot. & Sys., 1992 July, Raleigh.
- [2] 土屋, 高島, 木村, 野田: "画像からの輪郭線抽出の一手法", 信学論(D-II), J77-D-II, 03, pp.625-62, 1994.
- [3] 村井, 梶田, 加藤, 諸角, 野田: "ステレオビジョンによる飛球の飛跡観測", 情処学会第44回全国大会, 7B, No.2, p.2-111, 1992.
- [4] T.Morozumi, Y.Murai, S.Masuda, T.Kato & K.Noda "Stereo-Vision Observation of Flying Ball Locus", IEEE/RSJ Int'l Conf. Intellig. Robot & Sys., 1992 July, Raleigh. IROS'92, WP 2-4, No.6, 1992.
- [5] 村井, 番匠, 山本, 野田: "両眼視による野球ボール追跡のための探索領域限定と飛跡予測", 情処学会第48回全国大会, 2-87, 1994.
- [6] R.G.ワッツ, A.T.ベイヒル: ベースボールの科学. サイエンス社, 1993.