

平成 30 年度卒業論文

テンプレートマッチングとフレーム差分を
組み合わせた野球映像からのボール抽出

宮崎大学工学部 情報システム工学科

竹井 奏一郎

指導教員 棕木 雅之

目次

1	はじめに	1
2	ボール抽出	2
2.1	スポーツ映像解析の従来研究	2
2.2	野球映像からのボール抽出	3
2.3	ボール候補の判定	4
3	複数手法を組み合わせたボール抽出	5
3.1	テンプレートマッチングによるボール候補の選定	6
3.2	フレーム差分によるボール候補の選定	7
3.3	候補の組み合わせ	9
3.4	軌跡の制約によるボールの選定	10
4	実験	11
4.1	実験条件	11
4.2	評価指標	12
4.3	実験結果	13
4.4	複数特徴の組み合わせの評価	14
4.5	テンプレートマッチングによるボール候補の選定の評価	17
4.6	フレーム差分によるボール候補の選定の評価	19
5	おわりに	21

1 はじめに

近年、様々なスポーツにおいて、戦略の考案や弱点の発見のために、スポーツ映像の解析が利用されている。そのため、画像認識技術を使ってスポーツ映像を解析する研究が行われている。特に野球やサッカー、テニス、バレーボールといった球技ではボールの位置が重要な意味を持つため、映像中からボール位置を抽出する技術は重要である。本研究では、野球の投球映像からのボール抽出を扱う。野球の投球映像中のボールは、高速に移動するためブレる、選手のユニフォームと重なる等抽出が難しい対象である。本研究では、テンプレートマッチングとフレーム差分という異なる性質をもった処理により抽出した多数のボール候補を、軌跡の制約により絞り込むことでボール抽出を行う手法を提案する。

2 ボール抽出

2.1 スポーツ映像解析の従来研究

スポーツ映像からのボール抽出は様々な研究で用いられている。例えば、バレーボールにおけるサーブデータを抽出する研究 [1] やサッカーの試合における様々な情報を抽出するスポーツ映像解析 [2] が行われている。これらの研究では、ボールが大きい、ブレていない等ボール抽出が行いやすい映像を使用している。本研究では、テレビ放送やインターネット配信された画質の悪い映像でも、ボール抽出を行える手法を検討する。

2.2 野球映像からのボール抽出

本研究では、センターバックスタンドに設置されているテレビ中継用の1台のカメラにより撮影した映像からのボール抽出を試みる(図1)。野球映像において、ボールのサイズは画面全体と比較してとても小さいものとなっている。また、撮影時のブレ、選手が着用しているユニフォームや背景がボールと重なるなど、ボール抽出を困難にする要因が多い。



図1 野球映像の例(概念図)

2.3 ボール候補の判定

ボールの特徴として

- 視覚的特徴
- 時間方向の変動の特徴
- 軌跡の制約

が存在する。ボールは、画面上で白っぽい色をしているという視覚的特徴を持つ。

また、映像中では静止しておらず、フレーム間で位置が移動しているという時間

方向の変動の特徴を持つ。さらに、投球されたボールは一定の方向に移動すると

いう軌跡の制約を持つ。視覚的特徴、時間方向の変動の特徴でそれぞれ多数の候

補を抽出し、共通項を取った上で軌跡の制約を満たすものをボールとして抽出

する。これによりすべての特徴、制約を満たす信頼性の高い候補に絞り込むこと

が出来る。

3 複数手法を組み合わせたボール抽出

本研究では、ピッチャーの手からボールが離れた瞬間からキャッチャーミットに収まるまでの映像をフレーム単位で分割し、フレーム毎にボールの候補を探す。投球において、ボールはピッチャーの手元からキャッチャー方向に向かって進んでいく。打者の背中方向やピッチャーズマウンドの真横といった場所には、ボールが出現しないため、本研究ではその範囲を除いて処理する。本研究でのボール抽出の流れを以下に示す（図2）。

- ① テンプレートマッチングによるボール候補の選定
- ② フレーム差分によるボール候補の選定
- ③ 候補の組み合わせ
- ④ 軌跡の制約を用いた選定

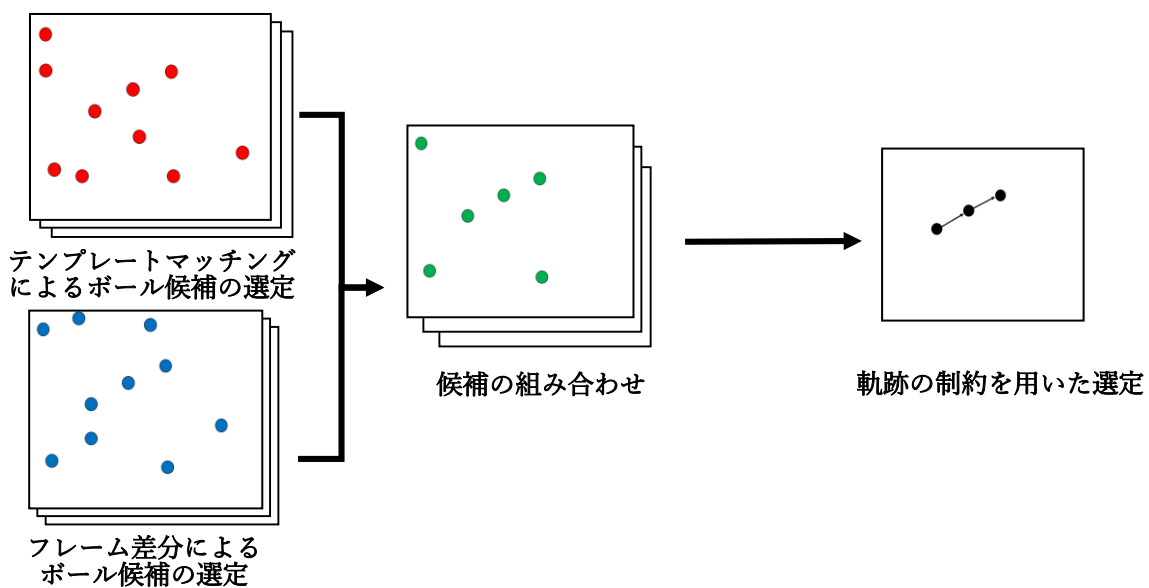


図2 ボール抽出の処理の流れ

3.1 テンプレートマッチングによるボール候補の選定

本研究では視覚的特徴を用いてボール候補を選ぶために、テンプレートマッチングを採用する。テンプレートマッチングは、抽出対象の画像をテンプレート画像としてあらかじめ用意し、入力画像を走査し、テンプレート画像と類似した部分を見つける手法である（図 3）。入力画像とテンプレート画像の対応する画素値の差（相違度）を計算し、設定した閾値より相違度が小さければその位置に抽出画像があると判定する [3]。本研究でのテンプレート画像は、投球映像の中からボールをキャプチャした画像を 1 枚使用する。野球映像では、ボールは高速で移動する。そのため、映像上ではボールの見た目がブレたり、ボールと同系色のユニフォームを着用したバッターと被りボールと認識しづらくなる場合がある。そのため、相違度の閾値を高く設定してボールがマッチングする割合を増やす。相違度が閾値以下となったテンプレート画像の範囲をボール候補とし、その中心座標をボール候補の位置とする。



図 3 テンプレートマッチング

3.2 フレーム差分によるボール候補の選定

本研究では、時間方向の変動の特徴からボール候補を選ぶ手法として、フレーム差分を採用する。フレーム差分は t , $t-1$, $t-2$ という時間方向に 3 枚連続するフレームを用いて処理する。現在表示しているフレームを t とする。 $t, t-1$ のフレーム間と $t-1, t-2$ のフレーム間においてそれぞれの差分の絶対値を計算し、差分画像を生成する。次に、これらの差分画像を閾値処理で二値化する (図 4, 5)。得られた二枚の二値画像の論理積をとることで、移動した物体のフレーム $t-1$ での差分領域を出す (図 6)。次にノイズを取り除くために収縮膨張処理をかける (図 7)。その後、膨張処理を行い、投球動作等のボールの動きに関係がない差分領域をまとめる (図 8)。この時、ボールと考えるには大きすぎる差分領域は、ピッチャーやバッターの動作等ボールに関係のない差分領域と判断し、候補から除外する。本研究では、1000 ピクセル以上の差分領域をボールに関係のない差分領域と判断している。残りの差分領域をボール候補とする。差分領域の重心座標をボール候補の位置とする。



図 4 t-1,t-2 のフレーム間の差分領域の二値画像



図 5 t,t-1 のフレーム間の差分領域の二値画像



図 6 図 4,5 の論理積を取った二値画像

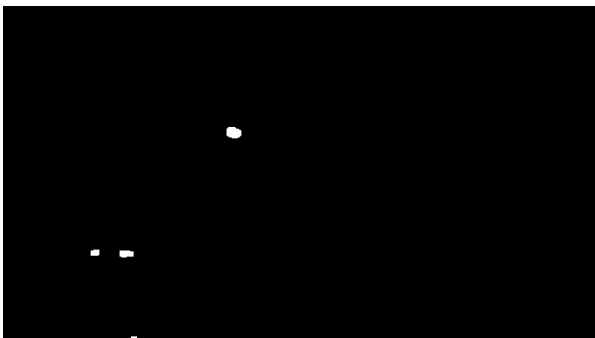


図 7 図 6 に収縮膨張処理をかけた二値画像

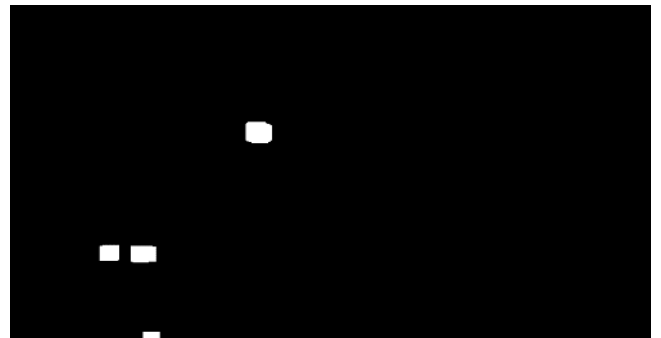


図 8 図 7 に膨張処理をかけた二値画像

3.3 候補の組み合わせ

上記の二つの手法によって出したボール候補は、ボール以外のものも多く含まれている。ボールはこれら両方の性質を持つため、両方の候補として共通に含まれている。そこで、テンプレートマッチングによって出力されたボール候補の位置とフレーム差分によって求めたボール候補の位置を比較し、一定の距離以下であったもののみを統合候補として残す。これによりボール以外の候補を削減する。

3.4 軌跡の制約によるボールの選定

投球により放たれたボールは、キャッチャー方向に進行していく。キャッチャーに到達するまでに、ボールの急な加減速は生じない。フレーム間隔は短いので、隣接するフレーム間ではボールは等速直線運動をしていると仮定する。この性質から、等速直線運動を描いているとみなせない候補を削除することで、ボール抽出の精度を高める。

図 9 に軌跡の制約によるボール選定の流れを示す。フレーム t-1 に統合候補 A、候補フレーム t に統合候補 B が存在すると仮定する。統合候補 A、B の中心座標をそれぞれ α 、 β と置く。この時フレーム t+1 において座標 $\beta + \overrightarrow{\alpha\beta}$ の一定距離（距離：5）以内に統合候補があるか確認する。ある場合はその三点で軌跡を描いていると判断する。本研究ではこのように 3 つ以上の座標により構成されている軌跡に含まれる統合候補のみを採用し、最終的なボールの抽出結果とする。

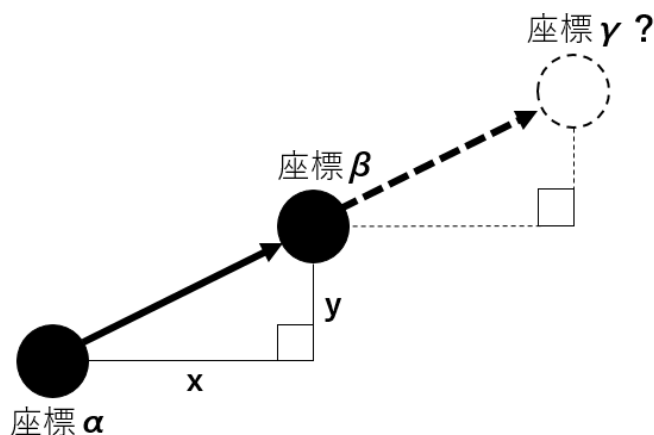


図 9 軌跡の制約によるボール選定の流れ

4 実験

4.1 実験条件

実験には、異なる球場で撮影された2種類の野球映像を用いる。映像Aには投手Aの投球99球(1252フレーム)、映像Bには投手Aとは異なる投手Bの投球100球(1395フレーム)が記録されている。これらの投球映像には、ボール抽出の理想的な正解座標が1枚につき必ず1つ存在する。これらの映像中の両投手は、共に右投げである。打者は両映像において右打者、左打者両方のパターンがある。画像サイズはすべて1280×720となっており、投手Aのボールのテンプレート画像は22×19、投手Bのボールのテンプレート画像は16×15となっている。

4.2 評価指標

本研究では正解座標は全て目視で与えている。正解座標の近く（距離：14 以内）にある候補を正解候補と呼ぶ。結果の評価の指標として、適合率と再現率を用いる。適合率と再現率を算出するための式は以下の通りである。

$$\text{適合率} = \frac{\text{正解候補数}}{\text{候補数}}, \quad \text{再現率} = \frac{\text{正解候補数}}{\text{正解数}}$$

適合率は正と予測したデータのうち、実際に正であるものの割合で、誤検出が多いほど低下する。再現率は正であるデータに対する、正であるという予測が正しかったものの割合で、検出漏れが多いほど低下する。

4.3 実験結果

表 1 に実験結果の適合率、再現率を示す。投手 A の適合率は 93.1%という高い結果となった。対して、投手 B は投手 A に比べて適合率が低い結果となった。この原因として、ボールが背景の同色に近いものに被ってしまったことが挙げられる。投手 B の映像は、キャッチャー後方の芝生の色が白色になっており、多くの投球の軌跡が白色の芝生と重なる。このため、背景部分がボールとして誤検出されている。

再現率は投手 A,投手 B とともに 60%台と、約 3 枚に 1 枚は検出漏れをしている結果となった。この原因として、ボールが左打者の服や背景といった同色に近いものに被ってしまったことが考えられる。ボールがボールの色と近い背景を移動している場合、正しいボール位置でボール候補が検出されたいため、検出漏れが生じている。

表 1 ボール抽出結果

	投手 A	投手 B
正解数	1252	1395
候補数	879	1066
正解候補数	818	851
適合率	93.1%	79.8%
再現率	65.3%	61.0%

4.4 複数特徴の組み合わせの評価

提案手法は、映像中のボールのもつ複数の特徴を組み合わせることで性能改善を図っている。各処理が最終的なボール抽出結果にどのように影響しているか考察するために、各段階での適合率、再現率を調べた。結果を表 2～4 に示す

表 2 テンプレートマッチングによる候補

	投手 A	投手 B
候補数	108627	44705
正解候補数	1191	1253
適合率	1.1%	2.8%
再現率	95.2%	89.8%

表 3 フレーム差分による候補

	投手 A	投手 B
候補数	5249	9867
正解候補数	1011	1095
適合率	19.3%	11.1%
再現率	80.8%	78.5%

表 4 統合候補

	投手 A	投手 B
統合候補数	2214	2404
正解候補数	986	983
適合率	44.5%	40.9%
再現率	78.8%	70.5%

表 2, 表 3 の結果から、投手 A,B 共に多くの正解候補を選定することが出来た。しかし、どちらの手法を用いた場合も、再現率は 100%に達しなかった。テンプレートマッチングによる選定では、相違度の閾値をより高くしても再現率の大きな上昇がみられなかった。フレーム差分による候補の選定では、候補の選定条件を緩めると、正解座標近くに複数の正解候補が出てしまい、後の処理でボール候補の絞り込みが出来なくなった。テンプレート画像の与え方を変更する、フレーム差分だけでなく背景差分も併用する等により、それぞれの処理の性能を高める必要がある。

表 4 から、2 つの特徴で抽出したボール候補を統合することで、正解候補をあまり減らさずに候補を絞り込むことができた。しかし、再現率が表 2, 表 3 の場合より低くなっていることから、誤検出を削減する際に、正解候補も削減してしまっていることが分かる。組み合わせた手法は、それぞれ違う特徴に注目しており、異なる特性をもった処理を行っている。ボール候補の抽出が成功する条件も異なるため、一方の手法で正解候補を抽出できても、他方では失敗することがある。統合処理では、この影響をそのまま受けるので再現率が低下している。処理結果の信頼度を加味して統合を行う等の改善法が考えられる。

表 1 と表 4 を比較すると、軌跡の制約を用いることでボール抽出の適合率が大きく上がった。このことから、軌跡の制約を用いたボール選定は、ボール以外

のものを削減する方法として有用であるといえる。しかし、この場合でも正解候補であるにもかかわらず、軌跡の制約により抽出結果から除外された候補が存在した。ボールは厳密な等速直線運動を行っておらず、山なりの弧を描いて移動している。ボール軌跡により即した軌跡の制約を導入することで改善が見込める。

4.5 テンプレートマッチングによるボール候補の選定の評価

提案手法は、映像中のボールのもつ複数の特徴を組み合わせることで性能改善を図っている。提案手法に用いているテンプレートマッチングの相違度の閾値が最終的なボール抽出結果にどのように影響しているか考察するために、追実験として閾値を変化させた場合での適合率、再現率を調べた。結果を図 10,11 に示す。

本研究では閾値が 58 を上回った場合をマッチングと判定していた。追実験ではさらに相違度を 40,50,60,70,80,90 に設定した場合も評価をした。閾値が高いほど、適合率が高く再現率が低いという結果となった。また、再現率は 70% を一度も越さなかった。適合率が 80% 近いかつ再現率が 60% を下回らないことを考えた結果、閾値を 58 に設定した。

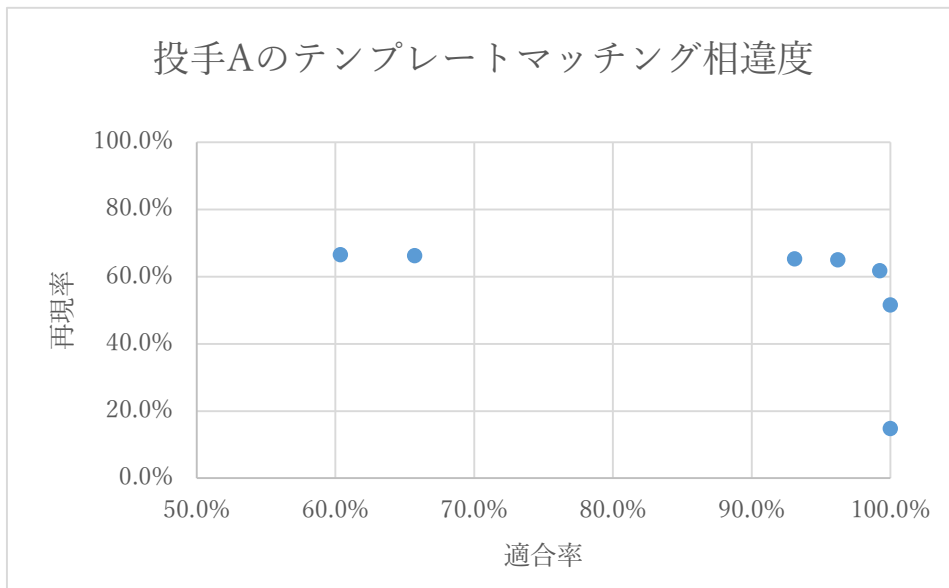


図 10 投手 A におけるテンプレートマッチングの
閾値の変更後の結果

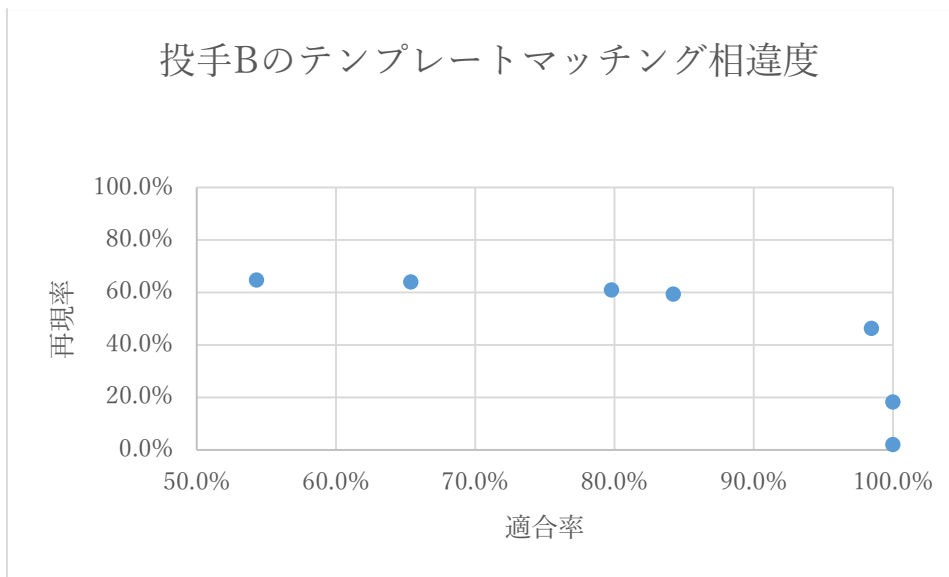


図 11 投手 B におけるテンプレートマッチングの
閾値の変更後の結果

4.6 フレーム差分によるボール候補の選定の評価

提案手法に用いているフレーム差分を用いたボール候補の選定において、二値化の閾値が最終的なボール抽出結果にどのように影響しているか考察するために、追実験として閾値を変化させた場合での適合率、再現率を調べた。結果を図 12,13 に示す。

本研究では閾値が 30 を上回った場合を差分領域と判定していた。追実験ではさらに相違度を 15,60,90,120 に設定した場合も評価をした。多くの場合、閾値が高いほど、適合率が高く再現率が低いという結果となった。投手 A において閾値の値を 120 と設定したとき、正解候補が減るが正解候補以外が減ってないという場合があったため、閾値を高く設定したにもかかわらず適合率が低くなった場合が存在した。

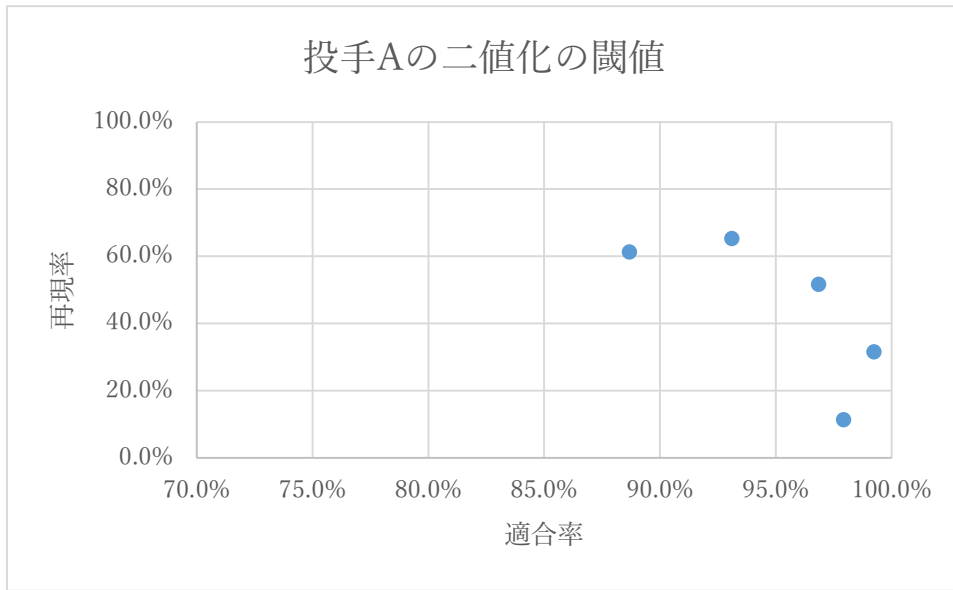


図 12 投手 A における二値化の閾値の変更後の結果

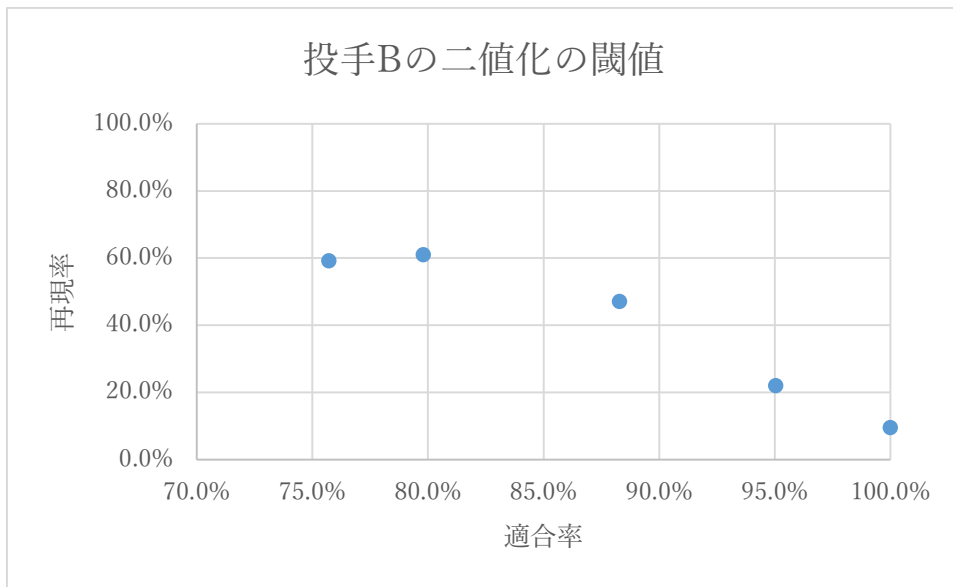


図 13 投手 B における二値化の閾値の変更後の結果

5 おわりに

本研究ではテンプレートマッチングとフレーム差分という異なる性質をもった処理により抽出した多数のボール候補を、軌跡の制約により絞り込むことでボール抽出を行った。適合率は約 80%以上となり、複数の手法を組み合わせ、ボール候補の選定をすることが有用であるといえる。

今後の課題として、個々の処理の性能を向上させることで、ボール抽出の精度の向上を図ることが挙げられる。また、今回用いた映像は 2 人の右投手のみで、球種も限られていた。左投手の場合や今回の映像に含まれていなかった球種等の様々な投球映像に対してボール抽出を行い、手法を評価、改善することも今後の課題である。

謝辞

最後に、本研究を行うにあたり、ご指導いただいた椋木雅之教授に深く感謝いたします。指導教員である椋木雅之教授には、お忙しい中実験で行う上でのコツや、論文の記述方法に関する助言といったアドバイス、ご指導を沢山いただきました。また、忙しいにも関わらず相談相手になって頂く、アドバイスをして頂いた椋木研究室の皆様にお礼申し上げます。

参考文献

- [1]菊池拓磨 他, バレーボール動画におけるサブデータ抽出に関する研究, 第14回情報科学技術フォーラム, 183-184, 2015
- [2]田磨雅基 他, スポーツ映像解析ソリューション, パナソニックコーポレート R&D 戦略室, パナソニック技報 61号(2), 156-161, 2015
- [3]美濃導彦, 画像処理論-web 情報理解のための基礎知識-, 昭晃堂, 2011