

センシング技術を用いた スポーツ情報解析

基
般

誉田 雅彰 池永 剛 (早稲田大学)

情報処理がスポーツに果たす役割

2019年のラグビーワールドカップや、2020年の東京オリンピックなどのビッグイベントの日本開催を契機として、スポーツへの関心が高まっている。一方、近年のスポーツ分野における情報処理技術が果たす役割は、スポーツ動作解析をはじめとしてゲームの戦略分析やコーチング分野などにも広がりを見せている。それらは、トップアスリートの競技力向上に資するだけでなく、最近のスマートフォンによるランニングアプリに見られるような一般人の健康スポーツにも広がっている。スポーツを支える情報処理技術には、センサ技術、映像処理技術、バイオメカニクス、データマイニング、通信技術などがある。特に、近年の映像処理技術とセンサ技術の進展は、スポーツ科学研究のみならず、データに裏打ちされた高度なゲーム戦略をベースとした戦いなど、スポーツ競技の現場においても新たな情報処理技術の導入につながっている。

スポーツ映像の利用に関しては、これまでもサッカーやバレーボールなどの球技スポーツを中心に広く用いられてきたが、撮影した映像をそのまま目で見ても大雑把な状況把握を行うなど、限られた活用しかされていないのが現状である。一方、近年の高精細かつ高フレームレートのビデオカメラの普及と高度な映像処理技術の進展を背景として、スポーツ映像処理技術の高度化が進んでいる。特に、球技スポーツの映像処理では、ビデオ映像から選手やボールの位置を自動検出し、フィールド座標上での3次元位置を求める技術が進展している。また、これらの位置情報から、プレイ内容の決定や選手の身体パフォーマンスの評価、戦略分析なども検討されている。

また、GPSセンサや3次元角度・加速度センサ等のセンサ技術に関しては、センサの小型化、通信機能の搭載を背景として、近年スポーツ分野で広く用いられるようになった。たとえば、サッカー競技において、GPSセンサを用いて選手位置を測定する試みや、スマートフォン内のセンサを用いて走行コースや距離を競技者へ提供するランニングアプリが商品化されている。センサを用いる方法の利点は、リアルタイムにスポーツ動作を測定できる点であり、センサ技術とデータ通信技術を融合させることにより、競技者の動作を測定・分析し、分析結果に基づいて決定された指示を競技者へフィードバックする遠隔自動コーチングが可能な状況になっている。

本稿では、球技スポーツを対象としたスポーツ映像処理技術とインラインスケートを対象とした遠隔自動コーチングシステムに関して、技術の現状を解説するとともに、スポーツ情報処理における課題について述べる。

映像センサを用いた球技スポーツ 解析

世界のトップスポーツでは、選手の肉体型面の強化だけでなく、データに裏打ちされた高度なゲーム戦略をベースとした戦いが行われている。特に体格面で世界の選手に劣る日本では、そのような戦略構築が、強く望まれている。実際バレーボールなどでは、専任のアナリストが、カメラからの映像を解析し、Data Volleyというシステムを用いながら新たな戦略を生み出している。しかしながら、映像からの情報取得は人手で行われており、膨大な労力を割きながらも、限られた情



報取得しかできていない。このため、最先端のセンシング技術を用いたスポーツ解析技術の実現が強く望まれている。

スポーツ動作のビデオ計測

画像センサや動画圧縮技術の進歩により、高性能かつ高精細 (HD ~ 4K) なビデオカメラが比較的容易に入手可能となっており、スポーツ解析の分野でも幅広く活用されてきている。また、従来は手動に頼る解析が主流であったが、動物体追跡や認識などの映像処理技術の進歩により、試合中さまざまな情報を自動で取得する取り組みも進められている。実際に、サッカーなどを対象とした実用的なスポーツ映像解析システム¹⁾なども実現されてきている。これは、試合映像から選手やボールの位置情報を取得し、選手個人の運動量や、選手同士のポジショニングの可視化を可能とするシステムとなっており、プロのクラブチームなどですでに活用されている。

特に球技を対象としたスポーツ解析に、ビデオ計測を用いることのメリットは、選手やボールに特殊なセンサやマーカなどを付けることなく、解析ができる点にある。これにより、練習などの限られた状況だけでなく、実際の試合からの情報取得が可能となり、スポーツ解析の対象を格段に広げてくれることが期待される。しかしながら、実際には、観客を含む背景の影響、選手同士の重なり、照明条件の変化 (屋外：天候の変化、屋内：フリッカー) など、多くの点を考慮する必要がある。さらに、誤検出の際の人手による修正をなくすためには、限りなく 100% に近い追跡・認識精度が期待されるなど、対象とする球技ごとに解くべき技術課題は多く残されている。

3次元解析のフレームワーク

ビデオ計測の例として、バレーボールのボールや選手の 3 次元追跡の取り組みを紹介する。バレーボールでは、選手とボールが常に 3 次元的な動きを行っているため、3 次元の実空間上での追跡が必須となる。1つのカメラを用いた取り組みも提案されているが、追跡精度は 80% 程度であり、実用レベルに達し

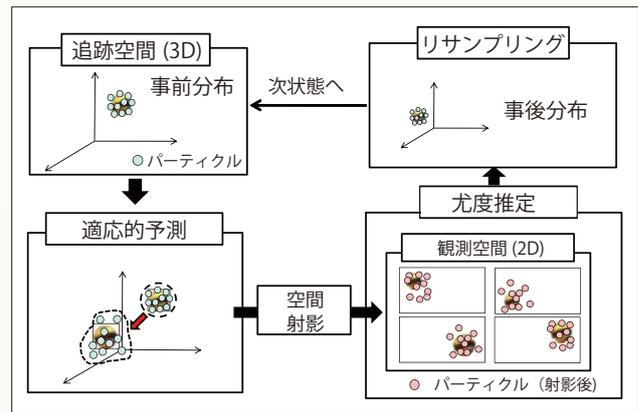


図-1 3次元追跡システム構成

ていない。より高い 3 次元追跡精度 (99% 以上) を得るため、複数のカメラを用いた手法が検討されている。また、観客のいる実試合へ適用するため、追跡アルゴリズムとしては、実環境下でロバストな動物体追跡が可能なパーティクルフィルタが用いられている。パーティクルフィルタは、シミュレーションに基づく複雑なモデルの推定法であり、幅広い応用に活用されている手法である。

図-1 にパーティクルフィルタのフレームワークに基づく 3 次元追跡システムの構成を示す。

図に示すように、3 次元追跡空間上に位置の候補となる多数のパーティクルを配し、予測により次フレームの分布を決める。次に、空間射影により 2 次元へ変換する。射影変換のための係数は、コート上の白線のコーナーやネットの特徴点から取得している。次に、複数のカメラから得られた 2 次元の観測データを用いて、射影後のそれぞれのパーティクルに対して尤度推定を行う。最後にリサンプリングにより、事後分布を決め、これらの処理を繰り返しながら、追跡を行う。

ボールおよび選手ともこのフレームワーク追跡可能であるが、追跡対象の特徴は大きく異なっており、キーとなる技術は異なる。それぞれの詳細を次に示す。

ボール追跡アルゴリズム

図-1 のフレームワークを用いたボール追跡アルゴリズム²⁾を解説する。ボールは、追跡対象は 1 つであるが、広範囲を移動するため、背景からの影響を受けやすい。またサイズが小さく、選手やネットによるオク

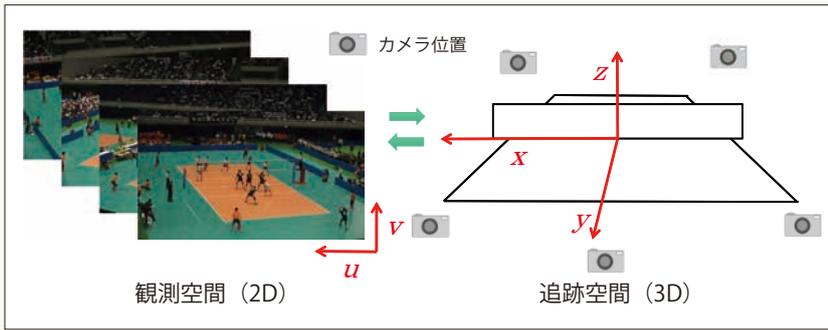


図-2 試合撮影

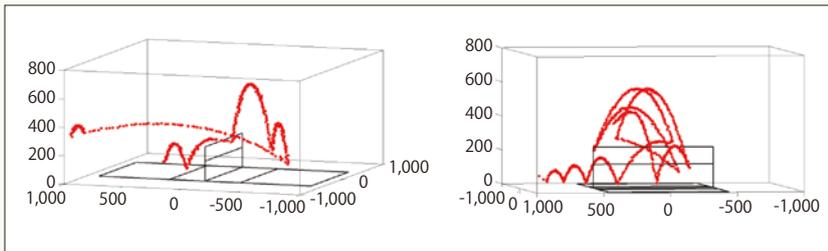


図-3 ボールの3次元追跡軌跡

	Set 1	Set 2	Set 3	合計
総 HIT 数	226	227	231	684
成功した HIT 数	221	226	231	388
追跡成功率	97.79%	99.58%	100%	99.14%

表-1 ボール追跡結果

	Set 1	Set 3	合計
総 RU 数 (6 選手)	348	378	726
成功した RU 数	348	377	725
追跡成功率	100%	99.74%	99.86%

表-2 複数選手追跡結果

ルージョンが頻繁に発生する。さらに、動きの特徴として、空中にあるときは、物理法則に則った動きをするが、スパイク、レシーブなどの瞬間には動きを大きく変える。これらに対処するため、予測としては、空中にあるときに急峻な変化が起こるときで、適応的に切り替えるモデルを採用している。また、尤度モデルとしては、色情報、形(円形)情報を用いるのに加えて、オクルージョンが生じているカメラの尤度値を用いないことにより、全体の尤度値が下がることを回避している。さらに、大きなミスが上がった際などに、撮影画面上からフレームアウトするなどの状況が生じるが、リカバリー(再検出)の仕組みを組み込むことで、再追跡可能としている。

複数選手追跡アルゴリズム

図-1のフレームワークを用いた選手追跡アルゴリズム³⁾を解説する。選手は、ボールと比較して追跡対象のサイズは大きい。同一チームの選手は、同じ色、模様のユニフォームを着用しており、かつプレイ中、選手は頻繁に入れ替わる。この状況下で複数選手の追跡を可能とするため、過去の10フレーム分の3次元位置を用い、最小二乗法で次の位置を予測している。また、選手がすれ違う際の誤追跡を減らすため、特定の選手を追跡する際、ほかの選手の3次元位置の領域を追跡対象から外す工夫を加えている。

さらに、尤度としては、色と模様(勾配値)の情報に加え、選手を区別する唯一の情報であるユニフォームの背番号の認識と組み合わせ、背番号が検出された場合は、値を高くするなどの工夫を加えている。

実試合への適用結果

上記に示したボールおよび選手の追跡アルゴリズムを実試合に適用した結果を示す。データとしては、2014年8月6日に東京体育館で開催された男子高校インターハイ決勝戦(東福岡×東洋、結果3対0)を用いた。試合の撮影は、複数のカメラを用い、図-2の5方向から行い、ボール追跡は4コーナーからの映像を、選手追跡は手前の3方向の映像を用い、コート手前側の6人の選手追跡を行った。また、撮影は、フルHDTV(1920x1080)、60fpsで行い、動きボケをなくすため、シャッタースピードは、1/1,000秒に設定した。

表-1、2にそれぞれボールおよび選手の追跡結果を、図-3に追跡したボールの中心を3次元空間上にプロットした軌跡を示す。ボールは、サーブ、レシーブ、トス、スパイクなど1つのプレイごとに動きを変えるので、それぞれを1HITとして、追跡成功率(どれくらい途中でロストすることなく追いつけられるか)の評価

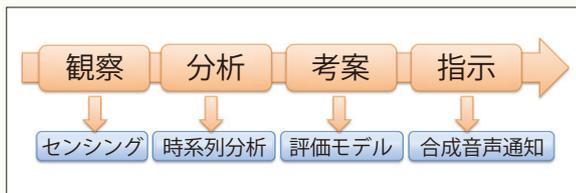


図-4 コーチングのプロセス

を行った。また、選手は、攻め、守りごとに大きくフォーメーションを変えるので、それを 1RU (Round unit) として評価した。

以上に示すように、提案システムを用いることにより、実試合の映像から、ボール、選手とも 99% を超える高い追跡成功率を達成しており、システムの有効性を確認できている。

小型携帯センサを用いた自動スポーツコーチング

駅伝やマラソン等の長距離移動を伴うレース競技では、運動フォームが競技パフォーマンスに及ぼす影響は大きい。運動フォームを改善するために、競技者の運動フォームを評価し、その結果を競技者へ通知するコーチングが行われている。従来、運動フォームの評価を行う手段として映像による分析方法が採られてきた。また、常時運動フォームのコーチングをするには、フィールド内での練習やコーチが競技者に同行する方法が採られてきた。しかし、長距離移動を伴うレース競技では、撮影機器を設置できる場所やコーチが競技者を見ることができない区間が限られる。

一方、情報通信技術進展に伴い、システムによって自動かつリアルタイムにコーチングを行う手法が提案されている^{4) 5)}。自動コーチングでは、図-4に示すように、これまでの人によるコーチングの観察、分析、考案、指示のプロセスを、センサ測定、時系列分析(動作特徴分析)、評価モデル、合成音声通知の手段で実現する。また、データ通信手段を導入することにより、遠隔地にいる競技者に対しても競技者への指示を自動かつリアルタイムに行うことが可能になる。このようなシステムの実現は、コーチが競技者を常に監視できる状況や、恒常的にコーチングが受けられる環境を提供

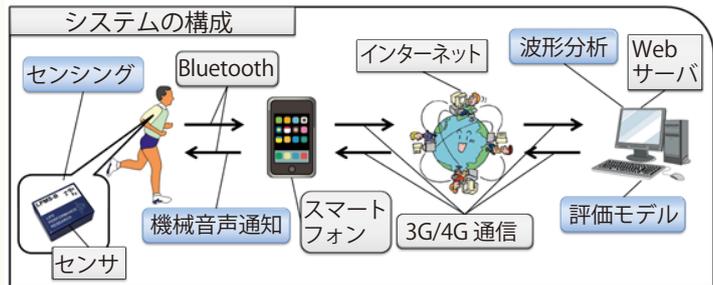


図-5 システムの構成

できる。また、リアルタイムな指示によって競技者が即座に動作を修正できるため、競技を一度中断し、コーチが運動フォームをチェックして競技者に指示を与える従来の方法に比べて競技力の向上が期待できる。

自動コーチングシステムの構成

自動コーチングの例として、インラインスケート競技の取り組みを紹介する。図-5にシステムの構成と動作を示す。システムは、小型携帯センサ、スマートフォン、Webサーバから構成される。センサはLP-RESEARCH社製の小型携帯センサ LPMS-B、スマートフォンはシャープ社製の SH-04E を使用し、Webサーバは Apache Tomcat による Java のアプリケーションサーバで構築した。

システムの動作は、センサで身体運動を計測し、Bluetooth による無線通信を用いてセンサデータをスマートフォンに送信する。スマートフォンは受信したデータを 0.5 秒分蓄え、インターネットを介して Webサーバに送信する。Webサーバは受信した計測データとその過去約 8 秒分のデータとをまとめて分析し、競技者への指示を決定する。決定した指示はコード形式でスマートフォンに返信され、受信した指示コードに対応する音声を再生し、指示内容を競技者へフィードバックする。なお、本システムにおける遅延時間はネットワークの状態による遅延の変動があり、その標準偏差は 164 ミリ秒であり、遅延時間は最大で 760 ミリ秒、最小で 160 ミリ秒であった。

センサによる身体動作計測

小型携帯センサは、加速度センサと地磁気センサ、ジャイロセンサの機能を有する。これらのセンサデー

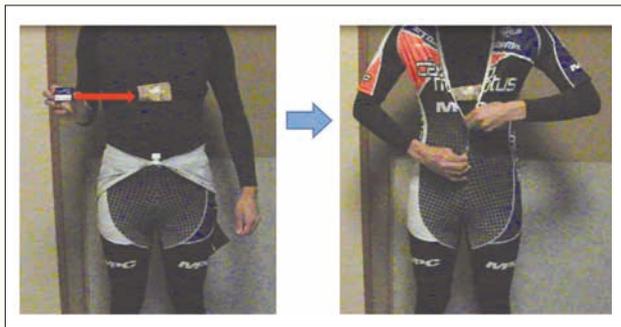


図-6 センサ装着方法

タより、Z軸周りのヨー角、X軸周りのピッチ角、Y軸周りのロール角の3軸の傾きを求めた。取得するデータのサンプリングレートは100Hzとした。センサは、**図-6**に示すように、競技者のみぞおちにX-Y軸平面に対して並行になるように装着した。固定方法はセンサを収納するポケットのついたゴム引布のバンドを胴体に巻き、さらに上からレーシングスーツを着ることで固定した。

動作特徴分析

インラインスケート競技における動作フォームを特徴づける動作特徴として、ピッチ、上体傾斜、上体向き遷移を求めた。

ピッチは、スケートニング運動において、疲労や滑走速度の調整をするための動作特徴である。スケートニング運動では、上体の向きがピッチに同調した周期で左右に反復運動を行うため、ピッチとしてセンサのヨー角から取得した骨盤から上の胴体の向きのデータ時系列の周期として求めた。上体傾斜は、スケートニング動作における空気抵抗を調整するための動作特徴であり、センサのピッチ角として取得した。上体向き遷移は、上体を横にスライドさせ、左右の重心移動を行いながら滑走する動作特徴を表し、センサのヨー角の1ストローク内での最大ピーク値と最小ピーク値の差として求めた。

指示の決定と通知

競技者への指示は、分析した動作特徴とその目標値との比較によって決定する。まず、分析した動作特徴と目標値との差を求め、その差の絶対値が閾値を超え

ている場合には、その動作特徴を目標値に近づける方向を指示として出す。また、複数の動作特徴が閾値範囲外となった場合には、最も大きく閾値から外れている動作特徴について指示を出すようにした。最後に、決定された指示コードをスマートフォンに送信し、スマートフォンでは受信した指示コードに対応する音声内容を、合成音声を用いて競技者へ通知する。

自動コーチングの適用結果

上記の自動コーチングシステムをインラインスケート競技者へ適用した結果を示す。被験者はインラインスピードスケート競技の日本代表競技者および競技歴5年以上の中上級競技者の男性5名とした。実験場所は、ストレート滑走が続けられるコーナーのない1kmの工業用道路を利用した。実験は、システムによる指示を行わずに被験者を滑走させる条件(試技1)、システムによる指示を行いながら被験者を滑走させる条件(試技2)、指示による学習効果を確認するために、再度システムによる指示を行わずに被験者を滑走させる条件(試技3)の3条件で行った。

図-7は、2名の被験者について、各試技の各滑走時間内で動作特徴がシステムの指定する閾値内に収まっている滑走時間の割合(時間率)を示す。試技1と試技2の時間率の差は指示のフィードバックによる学習効果を示し、試技2と試技3の時間率の差は学習効果の持続性を示す。これより、両被験者共、指示フィードバックがない試技1と比較して、フィードバックのある試技2においては時間率が増加している。また、試技2と試技3の時間率を比較すると、被験者3の上体向き遷移を除いて時間率は同等であり、フィードバック指示による学習効果が試技3においても持続していることが分かる。学習効果に関しては、程度の差はあるものの5名の被験者のすべての運動特徴について確認された。一方、学習効果の持続性に関しては、5名の被験者中2名において、いずれも上体向き遷移に関してその効果が得られなかった。その理由としては、ピッチや上体傾斜に比べて、上体向き遷移は左右に滑走していくスケートに合わせてバランスをとりなが

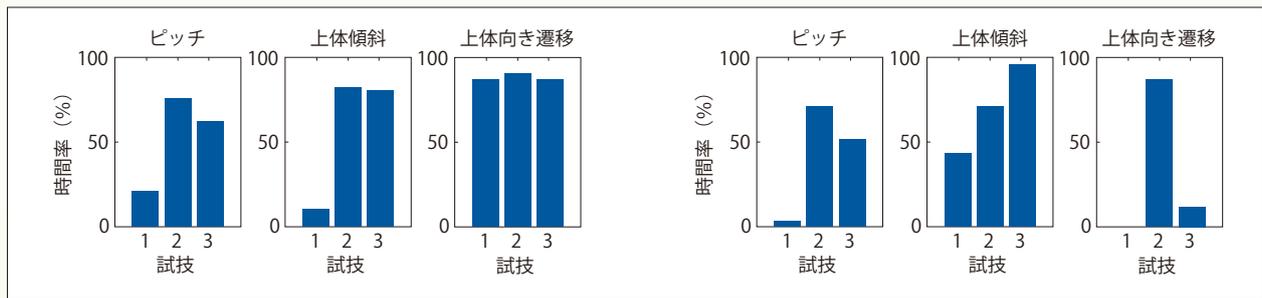


図-7 動作特徴が閾値内にある時間の割合. 左:被験者 2, 右:被験者 3

らも交互に動かしていくという複雑な動作であるため、十分に学習しきれなかったためだと考えられる。

今後の課題

球技スポーツを対象としたスポーツ映像処理とセンサ技術を利用した自動コーチングシステムについて、技術的な現状について解説した。今後の課題として以下の項目が考えられる。

- 1) 競技の多様性：大きなフィールドで行われるサッカーや選手の数・密集度が高いラグビーなど、多様なスポーツ競技に柔軟に適用可能な基盤技術の実現が望まれる。
- 2) 測定方法：試合会場によっては、撮影位置が限定される場合が多い。特に撮影位置が低くなった場合、選手同士の重なりが大きくなるため、それに対処可能なアルゴリズム実現が必要である。
- 3) 取得すべき情報：レシーブ、トスなどの選手のプレイ動作などメタ情報の取得も望まれる。
- 4) 複数センサへの展開：身体各部にセンサを装着し、より詳細な動作特徴を用いたシステムが望まれる。
- 5) 指示内容の高度化：動作特徴から現場のコーチが競技者への指示として用いる効率的な言語表現を自動生成するシステムが望まれる。
- 6) トップアスリートに対する測定上の問題：ナショナルチームなどのトップアスリートを対象とした測定に

関して、種々の権利の問題で試合の撮影許可を得ることは容易ではない。自動解析技術の可能性を発信しながら、多くの競技団体の理解を得ていくとともにスポーツ映像や動作データに関する公開データベースの構築が望まれる。

参考文献

- 1) 田藤雅基, 古山純子, 齋藤 浩, 竹中慎司, 関井大気: スポーツ映像解析ソリューション, Panasonic Technical Journal, Vol.61, No.2 (2015).
- 2) Cheng, X., Honda, M., Ikoma, N. and Ikenaga, T.: Anti-occlusion Observation Model and Automatic Recovery for Multi-view Tracking in Sports Analysis, IEEE ICASSP2016 (2016).
- 3) Huang, S., Cheng, X., Honda, M., Ikoma, N. and Ikenaga, T.: Particle Filter with Least Square Fitting Prediction and Spatial Relationship based Multi-view Elimination for 3D Volleyball Players Tracking, CSPA2016 (2016).
- 4) 後藤田中, 松浦健二, 大塚真二, 田中俊夫, 矢野米雄: ランニングの自己ペースを調整する Web 訓練システム, 教育システム情報学会, Vol.29, No.3, pp.152-164 (2011).
- 5) 尾崎淳志, 菅田雅彰: 小型携帯センサを用いた運動フォームの遠隔自動コーチングシステムの構築, 教育システム情報学会誌, Vol.32, No.1, pp.22-30 (2016).

(2016年3月9日受付)

■ 菅田雅彰 (正会員) hon@waseda.jp

早稲田大学大学院修士。工学博士。NTT研究所を経て、現在、早稲田大学スポーツ科学学術院教授。スポーツ情報処理、音声情報処理の研究に従事。

■ 池永 剛 (正会員) ikenaga@waseda.jp

早稲田大学大学院修士。博士(情報科学)。NTT研究所を経て、現在、早稲田大学情報生産システム研究科教授。動画像圧縮、動画像認識のアルゴリズムおよびシステム化の研究に従事。