

特集 「スポーツ競技とAI」【エディトリアル】

スポーツ競技と AI

Sports Competition and AI

清水 千弘
Chihiro Shimizu

日本大学スポーツ科学部, 東京大学空間情報科学研究センター
College of Sports Sciences, Nihon University. / Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo.
shimizu.chihiro@nihon-u.ac.jp, <https://www.shmzlab.jp/>

清田 陽司
Yoji Kiyota

株式会社 LIFULL, 東京大学空間情報科学研究センター
LIFULL Co., Ltd. / Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo.
KiyotaYoji@lifull.com, <https://www.kiyota-yoji.net/>

Keywords: sport competition, artificial intelligence, soccer, baseball, softball, basketball, rugby, badminton, gateball, gymnastics, swimming race.

1. はじめに

画像認識やセンサなどの実空間センシング技術や、深層学習などのAI(人工知能)の技術の成熟により、球技、陸上、競泳など、スポーツ競技の各種目でもAIが浸透しつつある。今や球技の世界(野球、サッカー、バスケットボールなど)では戦術の高度化により、競技映像の分析サービスが一大ビジネスとなっているし、記録を競う陸上や競泳などの世界では、競技者の体の動きを細かく分析し、適切にコーチや選手にその情報をフィードバックするシステムが活用されつつある。いずれはAIの利用なしには、オリンピックやワールドカップ、世界選手権などの世界大会レベルで結果を出すことが難しい状況になることも予想される。

このような進化の背景には、分析技術の発達と併せて、競技に関わるデータセットを構築するための技術の発達と、その蓄積が行われてきたことによる影響も大きい。そのように蓄積されたデータセットを公開し、研究の活性化を喚起する競技団体なども出現しつつある。膨大な量のデータセットが整備、共有されることにより、スポーツ科学に関わる者以外からも、スポーツ競技の各種目を対象とした研究に続々と参入しつつある。

一方で、競技技術の高度化に伴い、審判員に要求される技能レベルも上がっている。スポーツ競技への関心の高まりにより、誤審や判定の公平性をめぐって大きな議論が巻き起こることも珍しくない。正確かつ公平な判定を支援するためのAI活用、あるいは判定自体の自動化も議論されている。また、そのような技術の進化は、選手選考に権限をもつ監督・コーチと選手との間の関係や、その選考過程の透明化にも影響をもたらす。

我々は、2020年東京オリンピック・パラリンピックの開催を間近に控え、各競技におけるAI利用への関心

が高まっている状況を踏まえて、本特集を企画した。サッカー、野球、ソフトボール、バスケットボール、ラグビー、バドミントン、ゲートボールの各球技、および体操競技、競泳を対象とした8編の記事(うち1編は国際会議論文の邦訳)を寄稿いただくことができた。AIの利用形態についても、画像への深層学習の適用によるプレイなどの識別、新しい情報基盤として注目されるトラッキングデータへの機械学習適用による分類、採点におけるセンサデータの活用、敵対的生成ネットワーク(GAN)によるプレイの生成、シミュレーション、ロボットどうしの対戦、データセットの整備など多岐にわたる内容となった。スポーツ競技を対象とした研究に関心をおもちの方々はもちろんのこと、各競技の競技者やファンの方々にとっても興味深い内容となっているのではないかと思う。

本稿では、本特集全体を通じて浮かび上がったテーマのうちいくつかについて取り上げ、スポーツ競技におけるAIの研究の現状について俯瞰するとともに、今後のAI活用のあるべき方向についての議論を試みたい。

2. 歴史

1950年代から始まったAI研究の歴史において、スポーツ競技を含むエンタテインメントは初期から大きな関わりをもってきた。特に、チェス、将棋、囲碁など、頭脳スポーツとしてのゲームをプレイするAIの研究が、AI研究分野全体の発展に非常に大きな役割を果たしてきたことは広く知られている。頭脳スポーツは、ゲームの状態がほぼ完全にコンピュータ内で再現できること、過去のプレイに関する膨大なデータが入手可能であること、人間とAI・人間どうし・AIどうしの対戦も容易であることなどから、AIの研究対象として好んで取り上げられてきた。一方で、実空間における身体運動を要求するスポーツ

競技では、ゲームの状態の記述は頭脳スポーツほど容易ではない。ゲームの状態を完全に再現するには、競技者やボールなどの実空間上の正確な三次元座標、移動速度・加速度・回転速度、プレイ環境（風向・風速、温度、湿度、気圧、日照、降雨、フィールド状態など）、競技者の身体状態（身体的能力、関節の形状、疲労度など）や精神状態、身体的能力および認知的能力、競技者やボールの接触状態といった多岐にわたるデータが必要とされる。このような実空間データをセンシングする技術には近年ようやく利用可能になったもの、依然として未成熟なものも多い。また、身体をもたせた AI（すなわちロボット）と人間の対戦も、ロボット技術の未熟さ、人間にけがを負わせるリスクなどから、実現は容易ではない。

よって、（コンピュータゲームを除けば）スポーツ競技に AI を適用する研究は、ロボットどうしが対戦可能な競技ルールを AI 標準問題として定義し、コンペティションを企画するところから始まった。AAAI（アメリカ人工知能学会）は、1992 年よりロボットを対象としたコンペティションを開始した [Dean 93]。初期のコンペティションは、単独の自律型ロボットを対象としたものであり、重く低速なロボットを前提としていた。

野田五十樹氏らによる記事で言及されている RoboCup は、そのような時代背景の中で 1995 年より開始されたプロジェクトである。「2050 年までに人間のチャンピオンチームに勝てるサッカーロボットチームをつくる」という目標は、当時のロボットおよび AI の技術レベルに鑑みると非常にチャレンジングなものであることは、容易におわかりいただけるだろう。RoboCup においてサッカーが AI 標準問題として設定されたのは、サッカーには「動的・複雑・不確実な実世界における機敏で臨機応変な行動、複数ロボットの柔軟かつ多様な協調行動、最適なコミュニケーション戦略」[浅田 97] などの課題が含まれるためである。これらの課題は、4 章にて後述するとおり、非常に難度が高い。

RoboCup プロジェクトが開始されて 20 年余りが経過し、まだまだ掲げている目標は遠いものの、さまざまな技術的進展も見られたことが、野田氏らの記事によって示されている。協調行動については、プレーヤーのポジショニング分析や相手チームの戦略などに大きな進歩が見られている。それ以上に、毎年開催される各種リーグにおいて参加チーム間の切磋琢磨がもたらしているロボティクス技術の進歩は目覚ましく、実ビジネスへの技術応用も進められている。Amazon に買収された KIVA Systems（Amazon の物流システムの基盤技術を提供）、ソフトバンクに買収された Aldebaran Robotics（ヒューマノイドロボット Pepper の基盤技術を提供）などが、RoboCup ゆかりの企業であることは広く知られている。

人間によるスポーツ競技への AI 適用に欠かせない実空間センシング技術についても、近年は長足の進歩が見られるようになった。3 章にて後述するように、深層学

習により画像による高精度なセンシングが可能になるとともに、LIDAR（Light Detection and Ranging、光を用いたリモートセンシング技術）などの非接触型のセンサでプレーヤーの動きを正確にセンシングする技術が実用化されつつある。記録員の作業の一部代替や、ライブ中継において視聴者に観戦を楽しむための情報を自動的に重畳するなど、さまざまなアプリケーションを生み出している。

実空間センシング技術の発達により、各スポーツ競技におけるビッグデータの蓄積が進んだことが、5 章に後述するとおり、各競技のトップリーグのチームを中心としたビッグデータ活用のニーズに応える解析サービスなどの巨大な市場を創出しつつある。また、スポーツ競技に関するデータ資源が容易に入手可能になったことが、多くの AI 研究者の参入、研究分野としての発展を促している側面も見逃せない。今後も、ビッグデータを活用したスポーツ競技に関する研究およびビジネスはさらに活発になることが予想される。

スポーツ競技への AI 適用に関して最も難しい課題としては、6 章に後述する身体性および脳の認知機能の問題があげられる。前述のように、ゲームの状態を完全に再現するには、競技者の身体や認知能力に関わるさまざまなデータが必要とされるが、そのようなデータを取得する方法は未開拓である。身体性および脳の認知能力を明らかにすることは AI 研究のフロンティアの一つであるが、スポーツ競技を題材とした研究が、その一端を担うことが今後大いに期待される。

3. 実空間センシング技術の活用

スポーツ競技における実空間センシングの先駆的な事例としては、カーネギーメロン大学の金出武雄氏らによって開発され、2001 年のアメリカンフットボール大会 SuperBowl においてデモンストレーションが行われた Eye Vision システムがあげられる [辻 03, Williams 06]。スタジアム上にグラウンドを取り囲むように設置した 30 台のテレビカメラを同期して制御することで、スポーツ中継におけるファインプレイのリプレイなどで裏側に回り込んで別のアングルから見るなどの画期的な映像を実現している。さらに、その後の深層学習の発達により、画像による実空間センシング技術は急速に成熟しつつある。青木義満氏による記事に、ラグビー、バドミントン、競泳を対象とした最先端の応用例が紹介されているので、参照されたい。

モーションキャプチャやウェアラブルデバイスなど、プレーヤーの動きを正確にセンシングする技術も、盛んに研究されている。ただし、特にトップレベルの競技大会では選手の身体にデバイスを装着することは容易ではないため、LIDAR やその発展技術など、非接触型のセンシング技術が適用されつつある。金澤裕治氏らによ

る記事では、LIDARの走査範囲を限定することで高分解能化を実現したMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ミラー型センサを、体操競技の自動採点に応用する取組みが紹介されている。

4. 集団行動としての球技を対象としたAI活用

集団球技を対象としたAIの活用を考えるにあたり、各選手の個体運動(ミクロ)と各個体の連なりから生まれる集団運動(マクロ)の両側面を同時に解析していかなければならない。とりわけ、集団運動においては、その競技に参加する人数によっても、異なる法則性が存在することは容易に予想される。

2~3名で構成される集団による運動は、個人運動の特徴を引きずるものであり、直線的な運動法則をもつであろう。一方、100名で行うような競技であれば、個人の特性は失われ、ボールまたは選手の動きはブラウン運動する粒子のごとく、マクロの拡散運動を行うに過ぎない。

例えば、サッカーは11名で行う球技であるが、その場合には、実際のボールの運動は直線的でもなく、ブラウン運動的でもなく、複雑な振舞いを示す。バスケットボールは5名で行う球技であるが、サッカーと比較してより個体運動の性質をもちボールの動きも直線的になるものの、複雑性は残る。

このような特徴を知るためには、時間粒度と空間粒度の細かいデータが必要となるが、近年における画像解析・実空間センシング技術などの発達により、新しいデータ資源が登場する中で、新しい研究領域が発達してきた。とりわけサッカーにおけるトラッキングデータの活用は、2014 ワールドカップ・ブラジル大会で優勝したドイツチームが活用したことから一気に注目され、Jリーグにおいても2015年からトラッキングデータの収集が開始された。

このようなリアルタイム性が高く、空間粒度も細かいデータの登場は、戦術立案だけでなく、試合の放送の中で試合の状況を記号化し表示することができれば、スポーツそのもののエンタテインメント性を高める効果が期待されるために、スポーツそのものの社会的な価値をも変化させていくことも期待される。

新井優太氏による記事では、ボールおよびそれをもつ選手のみならず、「オフ・ザ・ボールでの動き」に注目している。具体的には、攻撃側選手の中でも特にゲームメイクを行うMF (Midfielder) がつくる三角形の周長(選手間の距離感を計測)および形状(正三角形度を計測)に対して統計的な分析を行い、攻撃側選手の三角形の有効性(防御側選手との攻防の状況を定量化)の観点からチームの運動性を評価・指標化する手法を提案している。

井上寛康氏による記事では、選手やボールの位置と移

動の向きをシンボル化し語彙空間を定義したうえで、単語の分布を入力とし、集団行動を分類するニューラルネットワーク(NN)の手法について紹介されている。さらに、教師なし学習であるトピックモデルを用いることで各チームの集団行動はそれぞれ異なった形として抽出し、対戦チームを比較することで、ある攻撃に対してどのようなリアクションとしての守備をとっていたのかを時系列も併せて見る手法を提案している。

陳傑宇氏らによる記事は、バスケットボールを対象とした分析例を示している。STATS LLCのエンジニアはNBAチームと協力し、スタジアムの上部に固定のビデオカメラを複数台設置することで、選手とボールの位置を追跡する手法を開発したことによって、サッカーにおけるトラッキングデータ同様に、時間粒度も空間粒度も細かなデータ資源の開発に成功している。

そのようなデータを用いて、陳氏は、近年大きな注目を集めているGenerative Adversarial Network (GAN, 敵対的生成ネットワーク)を、バスケットボールにおける守備プレイの生成に適用するという研究について述べている。一例として、攻撃側の「ピックアンドロール」と呼ばれる連携戦術に対して、守備側がうまく相手のスペースを消して無効化するプレイが生成された事例が紹介されている。GANが適切な協調行動を生み出している可能性を示唆する事例として、極めて興味深い。

5. データ資源の整備と流通

AIを含む科学技術の発達において、分析対象データは、最も重要な研究資源であることはいうまでもない。前章で述べたサッカーおよびバスケットボールの研究も、新しいデータ資源の生成技術が開発され、それが蓄積され、そして研究者が活用できるような流通経路ができることで実現されたものである。

従来の科学実験は、実験データを生成することから始めることが一般的であった。AI研究に従事する者は、データ資源にただ乗りするのではなく、データ資源を生成・構築している関係者に敬意を払わなければならないことはいうまでもない。そのような両者の協力関係があって、持続的な発達をもたらすことが可能となる。

加藤健太氏の記事は、野球、サッカー、ゲートボールを題材として、データスタジアム社が収集・提供するデータについて解説している。データ分析を行う者は、正しく分析していくためにはデータの発生プロセス(data generation process)を理解することが重要であることから、同氏の記事は、研究者にとって極めて有益である。

スポーツ分野のデータ生成は、競技の結果を情報として残すための「公式記録」と、競技特性を加味した競技中データ(プレイデータ、スタッツデータ、イベントデータなどと呼ばれる)に大別される。

まずスポーツ関連のデータサイエンスにおいて最も長

い歴史をもつ野球については、2004年から全試合の網羅的なデータ基盤が構築されており、チーム成績や個人成績といった基礎的な情報のみならず、「見どころ（試合の注目ポイントを記載したもの）」、「戦評（試合の経過や勝敗の分岐点を記載したもの）」、「ZR * 2ZR 基準の打球情報（ZR 算出用に記録した打球の飛球位置に関する情報）」もまた、独自に生成され蓄積されてきている。

サッカーにおいても、「公式記録」だけでなく、近年においては、新井氏らまたは井上氏の記事で紹介されたサッカーのトラッキングデータもまた、同社が構築し、各チームまたは研究者に提供している。

このようにスポーツデータサイエンス分野において、当該データを市場で提供する企業が誕生してきたことで、良質なデータが蓄積、アクセスできるようになり、新しい研究者の参入も期待される場所である。

陳氏らによるバスケットボールの守備プレイ生成へのGAN 適用の研究もまた、バスケットボールのプレイに関する膨大なデータ資源の蓄積が可能とした事例であるといえるだろう。今後、バスケットボール以外のスポーツ競技にGAN を適用する研究が続々と登場することも期待したい。

6. 身体性および脳の認知能力

3章にて前述したとおり、スポーツ競技におけるAI 活用では、身体性および脳の認知能力をめぐっては、解くべき課題が多く残っている。

金澤氏らによる記事では、体操競技における採点の問題にフォーカスし、技の認識をAI によって行うにはまず競技者の身体状態を正確にセンシングする技術が不可欠であることが明らかにされている。現在は採点規則に沿ったルールベースの判定手法が主に用いられているが、深層学習の活用も試みられている。

陳氏らによる記事では、バスケットボールのプレイのGAN での生成において、現状では選手の能力が考慮されていないことが指摘されている。選手の身体的能力、認知能力に関するデータの収集・活用は、スポーツ競技へのAI 活用において乗り越えるべき大きな課題の一つであろう。

野田氏らによる記事は、RoboCup のルールと、人間によるサッカーのルールの違いを、主に身体性の観点で明らかにしている。サッカーのルールにおいて課せられている身体的な制約が、チームゲームとしてのサッカーに深みを与えているとともに、「人間のチャンピオンチームと対戦する」という目標に到達するまでに埋めるべき差異（相手の動きの予測可能性、動きの自由度、ボールまたぎ、視野の広さなど）について述べられている。

柏野牧夫氏による記事は、スポーツ競技における脳の機能についてまだ未解明な部分が多いことを指摘するとともに、優れた競技者の脳において何が起きているのか

を明らかにしようとする研究の取組みに触れている。

7. スポーツ競技と AI の未来

スポーツ競技におけるAI 活用の取組みは極めて幅広く、本特集では残念ながら取り上げることができなかったテーマも多い。以下に、今後注目に値するテーマの一部を取り上げる。

障害者スポーツの世界では、健常者と同様の競技のみならず、独自の競技も数多く生み出されているが、競技レベルの向上は、健常者向け競技と比肩する（あるいは超える）AI 活用の取組みを増やしつつある。2020年東京パラリンピックの開催は、日本においても障害者スポーツへの関心をさらに喚起し、研究対象としても大きな注目を集めることが予想される。

仮想現実（VR）や拡張現実（AR）の技術の発展も、物理的、身体的な制約に縛られずにさまざまなスポーツ競技を楽しめる可能性を増すだろう。トレーニング、リハビリテーションや医療への応用、障害や加齢による身体的能力の低下を補ってスポーツ競技を末永く楽しめる環境の創出など、AI 研究をめぐってはさまざまなテーマが見いだせそうである。

コンピュータゲームをスポーツ競技として捉えた「eスポーツ」も、世界的に競技人口やファンを大きく増やしている。eスポーツは、競技者のデータ（プレイの動作、脳の状態など）をより精密に取得可能であることから、身体性および脳の認知能力の研究にも、新たなブレイクスルーをもたらすかもしれない。

本稿にて概観したとおり、スポーツ競技はAI にとって極めて有望なアプリケーションの一つであるとともに、AI 研究の本質的な課題（協調行動、身体性、認知能力など）がたくさん存在するフィールドでもあり、今後のAI 研究の進展にも大きく寄与するであろう。一方で、AI をはじめとするテクノロジーが浸透することは、スポーツ競技の本質を良くも悪くも変える可能性がある。すでに、アメリカンフットボール、野球、サッカー、柔道、大相撲など、さまざまな競技で導入が進められているビデオ判定は、競技の性質も大きく変えつつある。例えば、実世界センシング技術と深層学習の組み合わせは、審判員のAI による完全な置換えを原理的に可能とするかもしれない。しかし、審判員の存在が競技の発展に果たしてきた役割、ファンの観戦において（誤審を含めて）エンタテインメントの要素をもたらしてきた経緯を踏まえると、必ずしもAI による完全な置換えが競技の存在意義を高めるとは限らない。AI の各競技への実応用をめぐっては、各競技の歴史や本質を踏まえた活発な議論が求められるであろう。

◇ 参考文献 ◇

- [浅田 97] 浅田 稔, 國吉康夫, 野田五十樹, 北野宏明: 研究活動とロボットコンテスト (RoboCup), 日本ロボット学会誌, Vol. 15, No. 1, pp. 13-16 (1997)
- [Dean 93] Dean, T. and Bonasso, R. P.: 1992 AAAI robot exhibition and competition, *AI Magazine*, Vol. 14, No. 1, pp. 35-48 (1993)
- [辻 03] 辻 洋, 下山公宏, 藤田 淳, 川内直人: Eye vision 用パンチルトに応用されたロボット技術について, 三菱重工技報, Vol. 40, No. 5, pp. 274-277 (2003)
- [Williams 06] Williams, J. D.: Virtualized reality and eye vision, envisioning robotics, an online exhibit from the Dr. Takeo Kanade Collection, Carnegie Mellon University Libraries Digital Collection, <http://diva.library.cmu.edu/Kanade/kanadeeye.html> (2006)

2019年6月13日 受理

—— 著者紹介 ——



清水 千弘

1994年東京工業大学大学院理工学研究科博士後期課程中退。東京大学大学院新領域創成科学研究科・博士(環境学)。麗澤大学教授, プリテイッシュコロロンビア大学客員教授, リクルート人工知能研究所フェロー, シンガポール国立大学不動産研究センター教授などを経て, 日本大学スポーツ科学部教授。東京大学空間情報科学研究センター特任教授を兼務する。専門は, 経済数理論。特に環境価値や資産価格, なかでも不動産価格の測定を中心に研究をしている。



清田 陽司 (正会員)

株式会社 LIFULL AI 戦略室主席研究員。2004年京都大学大学院情報学研究科博士課程修了。東京大学情報基盤センターに助教として在籍中の2007年に東京大学発スタートアップ株式会社リッテルを共同創業し, 企業買収により2011年より LIFULL にて不動産テック分野の研究開発にたずさわっている。本誌副編集委員長, 情報処理学会データベースシステム研究会幹事などを担当。情報処理学会, 言語処理学会, 日本データベース学会, 日本不動産学会など各会員。日本データベース学会2018年度若手功績賞, 日本不動産学会2017年度論説賞などを受賞。東京大学空間情報科学研究センター客員研究員などを兼務。2018年より株式会社メディアンプル代表取締役を兼職。博士(情報学, 京都大学)。