

# ICTを活用したスポーツパフォーマンスの向上環境

飯田 英明<sup>1,†1,a)</sup> 山中 長閑<sup>1,†1</sup> 若山 将征<sup>1,†1</sup> 中村 純<sup>1,†1,†2,b)</sup>

**概要:** サッカー, 水泳, スキーなどでは, モーションキャプチャ, 高速ビデオ撮影などによる運動の精密な測定が行なわれている. このデータを機械学習, シミュレーションを活用して分析し, トップ競技者はどうのような技を使っているのかを解析, さらに可視化によって競技者が高い技術を習得するためのトレーニング環境を構築するための準備状況を報告する. これはコンピュータと教育の新しい分野であり, 本分野の研究者のこれまでの英知が活用できると考えている.

**キーワード:** 運動の測定, 機械学習, シミュレーション, 可視化

## Improving Sport Performance with the help of ICT

HIDEAKI IIDA<sup>1,†1,a)</sup> NODOKA YAMANAKA<sup>1,†1</sup> MASAYUKI WAKAYAMA<sup>1,†1</sup> ATSUSHI NAKAMURA<sup>1,†1,†2,b)</sup>

**Abstract:** In the sport science of soccer, swimming, skies etc, precise measurements play important role by using such as high-speed video camera motion capture, accelerometer etc. We plan to introduce the machine learning, the simulations, the AR(Augmented Reality) into this field as a research tools. Our objective is to extract the real skills of high performance athletes and to construct an effective training system: Computer Education by Computer.

**Keywords:** Measurement of Sports, machine learning, simulation, visualization

### 1. 背景

スポーツ科学の分野では, 選手のパフォーマンス向上のために, 運動の計測, 解析が重要な手法となっている [1]-[34]. そこでは, モーションキャプチャー, 加速度計, などのセンシング技術により精度の高いデータが取得, 蓄積されてきている (図 1). また, スポーツは肉体とボール等の運動であり, 運動学に基づくシミュレーションも重要となる (図 2). 正確なシミュレーションは観測できない部分を補うことができ, 逆に初期条件の不足などによるシミュレーションの不定性を実測データで修正していくことも可能となっ

てきている (データ同化).

国内スポーツ研究者は世界的にも早くからスポーツと物理的な解析の研究に着手してきた [1], [2]. 文献 [3] ではスポーツ競技における運動情報の可視化の重要性を提言し, ビデオ映像からサッカーにおけるチームの優勢なスペースを抽出できることを示している. また文献 [4] [8] では, さらに進んでこれらセンシング技術を使って得られた情報からトップ競技者の「コツ」の研究の可能性が議論されている.

これらのデータは, これまでは選手自身, あるいはコーチがそれを参照してパフォーマンスの向上を行ってきた. 優秀なコーチは, 多くの事例からトップ選手のコツを把握し, それを身につけていない選手を指導する.

大量のデータがあり, トップ選手の競技と平凡な選手の競技に区別できる特徴があるとき, この特徴量を抜き出すのは機械学習とくに深層学習 (deep learning) が大きな力を発揮できる分野である. 本報告では, サッカーのキック

<sup>1</sup> 極東連邦大学  
Sukhanova 8, Vladivostok 690950, Russia  
<sup>†1</sup> 理化学研究所  
RIKEN, Wako, Saitama 351-019, Japan  
<sup>†2</sup> 大阪大学  
RCNP, Osaka Univ., Osaka 567-004, Japan  
a) iidapion@gmail.com  
b) nakamura@an-pan.org



図 1 モーションキャプチャによるブラインドサッカーの運動測定．筑波大学浅井研究室提供．

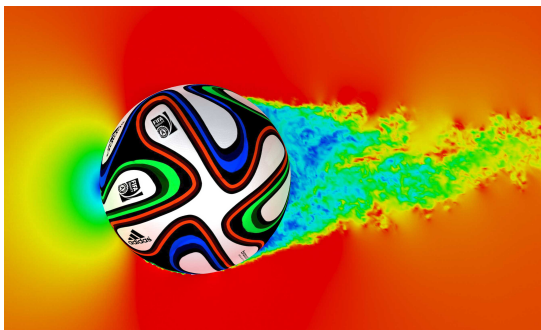


図 2 サッカーボールの計算流体解析．筑波大学浅井研究室提供．

の画像を深層学習で解析するための試みを報告したい．深層学習についてはたとえば [35],[36] を参照のこと．

## 2. NUSTEP プロジェクト

大量のデータの蓄積，コンピュータ処理能力の向上に伴って，データからの情報の取得に新しい手法が生まれ，大きな期待が寄せられている．ニューラルネットが大きく進化した深層学習 (deep learning) は確かな技術として機械学習 (machine learning) に大きな可能性を与えた．google のアルファ碁が囲碁の名人を破ったニュースは記憶に新しい．

また，拡張現実 (AR: Augmented Reality) の進歩も著しい．かつてバーチャルリアリティはゲームの中で画像を見るだけであったが，現在では専用メガネを装着して，生成したバーチャルリアリティの画像と，眼前の現実の画像を合成して提示し，その中を移動することも可能になりつつある．

我々は，筑波大学，理化学研究所，極東連邦大学の新しいチャレンジとして NUSTEP: Next Generation Unified Sport TEchnology Platform を計画している．本プロジェクトは，

(1) センシング技術を活用したスポーツの精密測定

(2) 深層学習によるトップ選手と特徴量の抽出

(3) 拡張現実を利用したパフォーマンス向上システムの構築

を目指している．スポーツの対象としてはサッカー，水泳，柔道を最初に取り上げる．サッカーは，研究対象要素としてボールの軌道，攻撃側と守備側の動きが重要であり，曖昧さが少ない．水泳は，センシング技術に工夫が必要であり，そのデータ解析も単純ではないため，NUSTEP をより強固，汎用性の高いシステムにするためのステップとなる．柔道は相手によって良い技も悪い技になりうる「クローズド」な点のはっきりした競技であり，他の多くの格闘技にも拡張できる．

## 3. サッカーボールの画像解析

ここでは，機械学習によるサッカーボールの画像解析に関して述べる．

我々は筑波大学浅井研究室の協力の下，サッカーボールのキック時の画像の提供を受けている．これを機械学習に使用し，以下のような研究を始めている．

- キックされたサッカーボールの運動の特定
- キックのモーション前後の特性判断

以下，センシングと解析の道具としてのスマートフォンの可能性とサッカーボールの運動の特定と特性判断の試みについて簡単に触れる．

### 3.1 測定と解析のツールとしてのスマートフォン

スポーツ科学の指導において大切な事の一つに，指導される者のパフォーマンスを定量的に測定することがある．ただし，指導の現場が常に専門的な測定機械を用いることのできる環境にあるとは限らない．そのため，被指導者のパフォーマンスを，身の回りにある手軽な装置で測定できると活用は大きく広がる．例えばスマートフォンのアプリのようなもので測定できると，小中学校の教育現場や地域のスポーツチーム，また家庭においてもそれを活用できる．

スマートフォンの動画性能は Apple 社の iPhone シリーズを例に挙げると，iPhone 5s (2013 年 9 月発売) までは 30 フレーム/秒 (fps)，1920×1080 ピクセル (1080p) が主流であった．しかし，iPhone 6 (2014 年 9 月発売) 以降は 60fps が採用されている．2014 年以降，60fps 規格を採用する傾向は他のスマートフォンにおいても同様に見られ，現在普及しているスマートフォンの動画性能は 60fps が標準になりつつある．

一方，サッカーボールの最大速度と最大回転数はトップ選手の場合，それぞれ 25-35m/s，4-10 回転/秒 (rps) 程度である [38]，[39]．従って，36m/s，12rps のボールを正しく測定することが可能であれば，一般の教育現場で十分に実用的な測定装置になり得る．

12rps のボールを 60fps 規格のスマートフォンで撮影した場合、ボールは 1 フレーム毎に 0.2 回転する。0.2 回転までの分解能があれば、高速回転をするカーブの場合と無回転シュートと呼ばれるナックルの場合の区別も可能である。従って、今日のスマートフォンはシュートの解析が可能な性能を持っていると考えられる。

### 3.2 キックされたサッカーボールの運動の特定

我々は筑波大学浅井研究室が専門とするサッカーに着目し、キック後のサッカーボールの動きを、機械学習により手軽に測定するソフトウェアを開発し、スポーツ指導の一助とすること、またこれを NUSTEP の研究に活用することを目指す。

サッカーボールの速度を機械学習で測定するため、まずボールの位置と速度を動画から自動的に取得する方法を確立する。機械学習のコードとして、YOLO を使用する [40], [41]。YOLO は Darknet と呼ばれる C 言語および CUDA をベースとしたニューラルネットワークのフレームワークの一部として作成された、物体検出用の機械学習コードである。コードの名称は “You Only Look Once” の略であり、前段階として候補領域を抽出した後それを機械学習にかけ一般的な位置検出と違い、前段階なく画像の全ての範囲を学習時に利用する。このため使用されているネットワークの構造がシンプルであり、他の方法よりも早く検出を行うことが可能である。また、画像全体の情報を用いているため、部分と全体との関係を捉えやすく、背景の誤検出を抑えることができる。分析する画像の取得に関しては、上記した「手軽な計測」に則り、スマートフォンで撮影した動画から画像を作成し、これを解析にかける。

図 3 は筑波大学浅井研究室の協力により撮影した、屋内および屋外でのキック後のサッカーボールの画像である。今回撮影に使用したスマートフォンの性能は、解像度および 1 秒あたりのフレーム数がそれぞれ 1080p, 30fps である。サッカーボールの球影は、屋内ではその形が大きく進行方向に伸長しているのに対し、屋外ではそれほど伸長していない。主な原因は撮影している環境の明るさによるシャッタースピードの違いのためと考えられる。このように環境によって様々なボールの画像が得られるため、どのような画像でもボールの運動を特定できる機械学習のソフトを作成するのが理想である。現在、浅井研究室の協力の下、様々な状況（屋内・屋外、速度の高低、撮影角度の違い）においてボールの画像を取得し、これをインプットとして機械学習を行っている。試験的に行なった学習では、その精度を表す IOU (Intersection Over Union, 1 が上限で、これが大きいほど正確に学習している) の平均が 0.2 程度で飽和した。一般に 0.9 を超えるくらいでないとならないため、これは低い値である。実際テスト画像のボールの位置特定には至っていない。しかしこれはあくまで試験的に



図 3 サッカーボールを蹴った後の画像。上は屋内、下は屋外での撮影。筑波大学浅井研究室の協力のもと撮影。



図 4 カーブを蹴る被験者の画像。筑波大学浅井研究室提供。

行なったものであり、本格的な学習はこれからである。

その先の目標として、ボールの回転数および回転軸を画像より取得することを目指す。ボールの回転数の計測は、サッカーのシュートにおいて重要なカーブ・ナックル等の打ち分けの指導において必要である。最初はボールに何らかのマーカ（シール等）を貼り、これを目印に機械学習により回転数を測ることを試みる。これが成功した後、マーカのないサッカーボールの画像そのものから回転数を取得することを目指す。

### 3.3 キックのモーション前後の特性判断

機械学習のひとつの重要な機能として、画像の中から特徴量を見つけ出すことが挙げられる。google が機械学習により、動画から自動的に猫の特徴を抽出し、その画像を構成したことは有名である [42]。機械学習を用いれば、様々な熟練度の被験者の画像・動画より、その特性を機械学習によって抽出し、これを指導に活かすことができる可能性がある。

その第一歩として、浅井研究室の協力の下、筑波大学の

サッカー選手のキックを多数撮影し、これを機械学習で分析する試みを行っている。ストレート (S)・カーブ (C)・ナックル (K) のキックを被験者に蹴ってもらい、1つのキック動画から複数の画像を取得した (図4参照)。これを機械学習に与え教師データとし、学習後にテストデータに関して SCK を正しく分類できるかを試みている。これを機械が分類できるならば、キックの種別で何らかの特徴が存在し、これを見抜いているということである。この特徴量を可視化できれば、SCK の打ち分けの指導に役立つ。

現在はまだ試験段階であり、特徴量を得るところまでは至っていない。今後機械学習のコードを、この試みに合わせてチューニングし、また撮影する画像自体にも工夫をしていく必要がある。将来的には SCK を分類するだけでなく、様々な熟練度の被験者の画像・動画を集め、これを機械学習にかけることで「達人の技」に潜む特徴量を抽出することを目指す。

#### 4. まとめ

スポーツのパフォーマンス向上のために計算科学技術を活用する NUSTEP プロジェクトの中の機械学習部分の試みについて報告した。ここでは機械学習のコード YOLO を利用してサッカーボールの解析をしている。YOLO は「教師あり学習」による機械学習コードであり、

- ステップ1: 動画を用意
- ステップ2: 動画より画像を取得し、各々の画像のボールの位置を測定したデータセットを作る
- ステップ3: 2. で作成したデータを YOLO のインプットとし、学習を行う

ステップ1は必要な動画を撮影できる環境・協力者が不可欠である。ステップ2は数百枚の画像を人間が処理するため時間がかかる。更にステップ3は、GPU を用いた1回の学習に数時間を要し、また様々なボールの画像に対し正確な認識能力を持つソフトを作るには、少なからぬ試行錯誤も必要である。

しかし、いったんこの学習が終了すると、スマートフォン上で数秒以下で新しく入力された画像からボールの位置を引き出すことができる。トップアスリートからアマチュア、小中学校などでの練習に有用かつ簡便な測定手段を提供することになる。

「達人、トップアスリートの技を機械学習で見出す」という目的地はまだ遠く、今後実際のデータを処理しながら多くの試行錯誤を積み重ねていく必要がある。しかし、機械学習はインターネットに続いて人類が手にした新しい強力な道具である可能性があり、その研究は価値があり楽しい。

パフォーマンス向上は、スポーツだけではなく、教育やトレーニングが意味を持つすべての分野で重要な問題である。「コンピュータと教育」の新しい課題として、本分野の多くの研究者が参入され、成果を上げることを期待する。

謝辞 本研究を企画・推進して下さった理化学研究所・

初田哲男主任研究員，プロジェクト全体のリーダーとして方向性を示し，スポーツデータの取得・利用についてご配慮いただいた筑波大学・浅井武教授に感謝いたします。サッカーボールの画像の準備にご尽力いただいた筑波大学博士課程・來海郁様のご協力に深謝いたします。

#### 参考文献

- [1] Asai, T., Takao, A and Steve,H, 'The physics of football', Physics World 11, 6, p25 (1998) IOP Publishing,
- [2] 浅井武, 「サッカーの物理」,パリティ (丸善). 14-4. 33-42 (1999)
- [3] 瀧 剛志, 長谷川純一, 北川 薫「スポーツ競技における運動情報の可視化」,「フットボール解説支援を目的とした競技シーンからの戦略的スペースの自動抽出」, FIT 2007 講演論文集 情報処理学会 (2007)
- [4] 橋詰 謙, 「トップアスリートのスキルを探る」, 電子情報通信学会誌 95(5), 437-441 (2012)
- [5] Sakamoto, K., Shimizu, Y., Yamada E., Hong, S., and Asai, T (2013), 'Difference in kicking motion between female and male soccer players', Procedia Engineering, 60, 255-261.
- [6] Hong, S., Go, Y., Sakamoto, K., Nakayama, M., and Asai, T. (2013), 'Characteristics of ball impact on curve shot in soccer', Procedia Engineering, 60, 249-254.
- [7] Sakamoto, K., Sasaki R., Hong, S., Matsukura, K. and Asai, T. (2014), 'Comparison of kicking speed between female and male soccer players', Procedia Engineering, 72, 50-55.
- [8] 小池関也「スポーツ動作の動力学的特性から見たコツのしくみ」バイオメカニズム学会誌, 37 巻, 4 号, 221-226, 2013 .
- [9] Alam, F., Asai, T., Mehta, R., Subic, A. (2013) 'AERODYNAMICS AND CONSTRUCTION OF MODERN SOCCER BALLS', Routledge handbook of sports technology and engineering, (Fuss, K. F., Subic, A., Strangwood, M., Mehta, R. eds.) Routledge, London, 439-451.
- [10] Asai, T. and Seo, K. (2013), 'Aerodynamic drag of modern soccer balls', SpringerPlus, 2:171.
- [11] Sakamoto, K. and Asai, T. (2013), 'Comparison of Kicking Motion Characteristics at Ball Impact between Female and Male Soccer Players', International Journal of Sports Sciences and Coaching, 8(1), 63-76.
- [12] Matsukura, K., Asai, T. (2013), 'Area covered by diving actions performed by male college soccer goalkeepers', Science and Football VII, (Nunome, H., Drust, B., Dawson, eds.) Routledge, London, 250-254.
- [13] Sakamoto, K., Hong, S., Asai, T. (2013), 'Characteristics of the kicking motion in female soccer player', Science and Football VII, (Nunome, H., Drust, B., Dawson, eds.) Routledge, London, 76-80.
- [14] Hong, S., Chung, C., Sakamoto, K., Nagahara, R., Asai, T. (2013), 'A biomechanical analysis of the knuckling shot in football', Science and Football VII, (Nunome, H., Drust, B., Dawson, eds.) Routledge, London, 61-66.
- [15] Asai, T. (2013), 'Aerodynamic characteristics of new soccer balls', Science and Football VII, (Nunome, H., Drust, B., Dawson, eds.) Routledge, London, 3-8.
- [16] Asai, T., Ito, S., Seo, K., Hitotsubashi, A. (2013), 'Fundamental aerodynamics of a new volleyball', Sports Technology, 3 (4), 235-239.
- [17] Koizumi, A., Hong, S., Sakamoto, K., Sasaki, R. and Asai, T. (2014), 'A study of impact force on modern soccer balls', Procedia Engineering, 72, 423-428. (2014)
- [18] Sasaki, R., Hong, S., Sakamoto, K., Nakayama, M. and Asai, T. (2014), 'The friction force between the soccer ball and the goalkeeper glove material', Procedia Engineering, 72, 654-669. (2014)
- [19] Hong, S., Sakamoto, K., Washida, Y., Nakayama, M. and Asai, T. (2014), 'The influence of panel orientation on the aerodynamics of soccer balls', Procedia Engineering, 72, 786-791. (2014)
- [20] Hong, S., Seo, K., and Asai, T. (2014), 'Flow visualization around panel orientations of football using a PIV', Proceedings of the International Symposium on Flow Visualization 16, 1153(1-8). (2014)
- [21] Hong, S. and Asai, T.(2014), 'Effect of panel shape of soccer ball on its flight characteristics', Scientific Reports, 4: 5068, 1-7.
- [22] Goff, J. E., Asai, T., Hong, S. (2014), 'A Comparison of Jabulani and Brazuca Non-Spin Aerodynamics', Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: J Sports Engineering and Technology, IMechE , 23, 1-7.
- [23] Matsukura, K., Asai, T. and Sakamoto, K. (2014), 'Characteristics of movement and force exerted by soccer goalkeepers during diving motion', Procedia Engineering, 72, 44-49.
- [24] 柏木 陸, 小尻 智子, (2015), 「動作映像からの成功・失敗要因抽出に基づくサッカーのフォーム形成支援システム」, 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学 114(513), 147-152
- [25] Asai, T. (2015), 'Tring to understand soccer ball aerodynamics', 7th ASAI-Pacific Congress on Sports Technology, 2015, The Impact of Technology on Sports, Barcelona (Spain). (招待講演)
- [26] Asai, T., (2015), 'Engineering and technology for sports', the 6 th TSME-ICoME, Hua Hin (Thailand).(招待講演)
- [27] Hong, S., Asai, T. and Seo, K. (2015), 'Visualization of air flow around soccer ball using a particle image velocimetry', 2015, Scientific Reports, 5: 10158.
- [28] 夏原隆之, 中山雅雄, 加藤貴昭, 永野智久, 吉田拓矢, 佐々木亮太, 浅井武, 「サッカーにおける戦術的判断を伴うパスの遂行を支える認知プロセス」, 2015, 体育学研究, 60(1), 71-85
- [29] 松竹貴大, 寶宝希祥, 門岡晋, 菅生貴之, 浅井武, 「サッカー選手の判断に伴う中枢情報処理能力の評価 反応時間と事象関連電位を指標として」, 2015, スポーツ心理学研究, 43(1), 1-13 .
- [30] Asai, T. and Hong, S. (2016), 'Aerodynamics of modern soccer balls', the 28th International Sport Science Congress, Hanyang (Korea). (招待講演)
- [31] Hong, S., Nobori, R., Sakamoto, K., Koido, M, Nakayama, M. and Asai, T. (2016), 'Experiment of aerodynamic force on a rotating soccer ball', Procedia Engineering 147, 56-61.
- [32] Sakamoto, K., Numazu, N., Hong, S. and Asai, T. (2016), 'Kinetics analysis of instep and side-foot kick in female soccer players', Procedia Engineering147, 214-219.
- [33] Goff, J.E., Hobson, C.M., Asai, T. and Hong, S. (2016), 'Wind-tunnel experiments and trajectory analyses for five non-spinning soccer balls', Procedia Engineering147, 32-37.
- [34] Asai, T., Hong, S., Ijuin, K. (2016), 'Flow visualization of downhill ski racers using computational fluid dynamics', 11th conference of the International Sports Engineering Association, Procedia Engineering,147, 44-49.

- [35] S. Raschka, 「Python 機械学習プログラミング」, インプレス (2016).
- [36] Y. LeCun, Y. Bengio and G. Hinton, ‘Deep learning’, Nature 521, 436-444 (2015).
- [37] <http://pjreddie.com/darknet/yolo/>  
M. Rastegari, V. Ordonez, J. Redmon and A. Farhadi, ‘XNOR-Net: ImageNet Classification Using Binary Convolutional Neural Networks’, Lecture Notes in Computer Science pp 525-542, arXiv://1603.05279
- [38] 浅井武, 瀬尾和哉, 小林修, 「サッカーのフリーキックに関する基礎研究」, 日本風工学会誌 第 99 号 101-102 (2004)
- [39] 鉄口 宗弘, 福井 哲史, 入口 豊, 三村 寛一, 「大学サッカー選手におけるキックスピードと身体特性との関連について」大阪教育大学紀要 第 IV 部門 第 58 巻 第 1 号 119-128 (2009)
- [40] <http://pjreddie.com/darknet/yolo/>  
M. Rastegari, V. Ordonez, J. Redmon and A. Farhadi, ‘XNOR-Net: ImageNet Classification Using Binary Convolutional Neural Networks’, Lecture Notes in Computer Science pp 525-542, arXiv://1603.05279
- [41] 株式会社フォワードネットワーク監修, 藤田一弥, 高橋歩, 「実装ディープラーニング」, オーム社 (2016).
- [42] Quoc V. Le, Marc’Aurelio Ranzato, Rajat Monga, Matthieu Devin, Kai Chen, Greg S. Corrado, Jeff Dean and Andrew Y. Ng, “Building High-level Features Using Large Scale Unsupervised Learning”, Proceedings of the 29<sup>th</sup> International Conference of Machine Learning, Edinburgh, Scotland, UK, 2012.