

スポーツ情報処理の研究動向

渡辺 裕^{†1}

1. まえがき

新型コロナウイルスの影響で、スポーツや音楽コンサートなどの活動が制限されるという思いもよらなかった事態となっている。端的に言ってしまえば、運動は身体に必要であり、芸術は脳に必要であることを再認識させられた。また、スポーツや音楽を見て聞いて楽しむという映像メディアに対する欲求も少なからず存在する。スポーツとまでいなくても、健康維持のためのフィットネスや最低限の運動の必要性を痛感している。

スポーツの研究分野において情報処理というアプローチが導入される以前は、運動力学からの解析が主流であった。運動力学はキネティクスと呼ばれ、動きの原因となる力を研究する分野である¹⁾。したがって、ロボット工学におけるアームの動力学モデリングとの親和性が高く、日本では機械学会においてスポーツ工学が扱われてきた。2010年から「シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス」が開催され、2015年以降は「シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス」となっている。キネティックな定量解析では、力・力学的(機械的)エネルギー・仕事・力積・モーメントやパワーといった変数が取り扱われる。力を定量化するためには、例えば、フォースプレートの上で運動を行い、どのような方向にどのような量の力が加わったかを計測することとなる。

一方で、運動している人物の姿勢解析を映像のみから行うアプローチがある。これは運動学に属する。運動学はキネマティクスと呼ばれ、動きの原因となる力とは関係なく、動き自体の四肢の形やその変化を研究対象とする。扱う物理量は、並進運動と回転運動の変位・速度・加速度である。2015年以前は、映像からの人物検出と姿勢推定については、画像特徴量の工夫が重要な研究課題であった。2016年にコンピュータビジョンの研究分野において、Convolutional Pose Machines (CPM) と呼ばれるニューラルネットワークを用いた人物の姿勢推定法が登場した²⁾。単眼映像のみか

ら、複数の人物の姿勢推定が可能となった。これより以降は機械学習を用いた姿勢推定が主流となり、さまざまな高精度化手法が発表されている。

本稿では、コンピュータビジョンにおける深層学習を用いたオブジェクト認識の発展とともに、どのようにスポーツ情報処理という分野が成長してきたかについて概観する。特に、IEEEの国際会議であるCVPR (Computer Vision and Pattern Recognition) に併設されたワークショップであるCVSportsを中心に、スポーツにおけるさまざまな研究課題がどのように変遷してきたかについて解説する。コンピュータビジョンでのスポーツを対象とする運動解析は、キネマティクスにおける物理量推定につながる。また、CVSportsとの対比として欧州のスポーツ工学関連国際会議であるicSPORTS (International Conference on Sport Sciences Research and Technology Support) を取り上げ、その研究課題と研究動向を紹介する。

2. CVSportsにおける研究動向

CVSportsはIEEEの国際会議CVPRに併設されたワークショップの一つである。2013年に第1回が開催された。図1に、コンピュータビジョンにおける深層学習の発展とスポーツ分野での応用を示す。CVSportsは第2回のみ、別のIEEEの国際会議であるICCVに併設されたが、それ以降は再びCVPRに戻っている。図1ではニューラルネットワークを用いた物体認識の研究の発展と合わせて、CVSportsおよび著書³⁾、論文誌を時系列的に示している。

特に注目されるのは、深層学習を用いた姿勢推定法であるCPM (2016年)、それを熟成させたOpenPose (2017年)の登場である⁴⁾。OpenPoseは、AlexNet (2012年)、VGG16 (2014年)、ResNet (2016年) に代表されるような多層ニューラルネットワークを投入して認識問題を解くというアプローチの成功による恩恵を受けている。これ以降、スポーツにおける人物の姿勢推定は、多人数に対して非接触で映像のみから姿勢推定が可能なOpenPoseが主流となった。さらに近年では、単眼でありながら3Dの姿勢推定が可能な手法が多く提案されている。2019年に発表された3D human pose estimationはビデオから姿勢の連続性を

[†] 早稲田大学

"Research Trends in Sports Information Processing" by Hiroshi Watanabe (Waseda University, Tokyo)

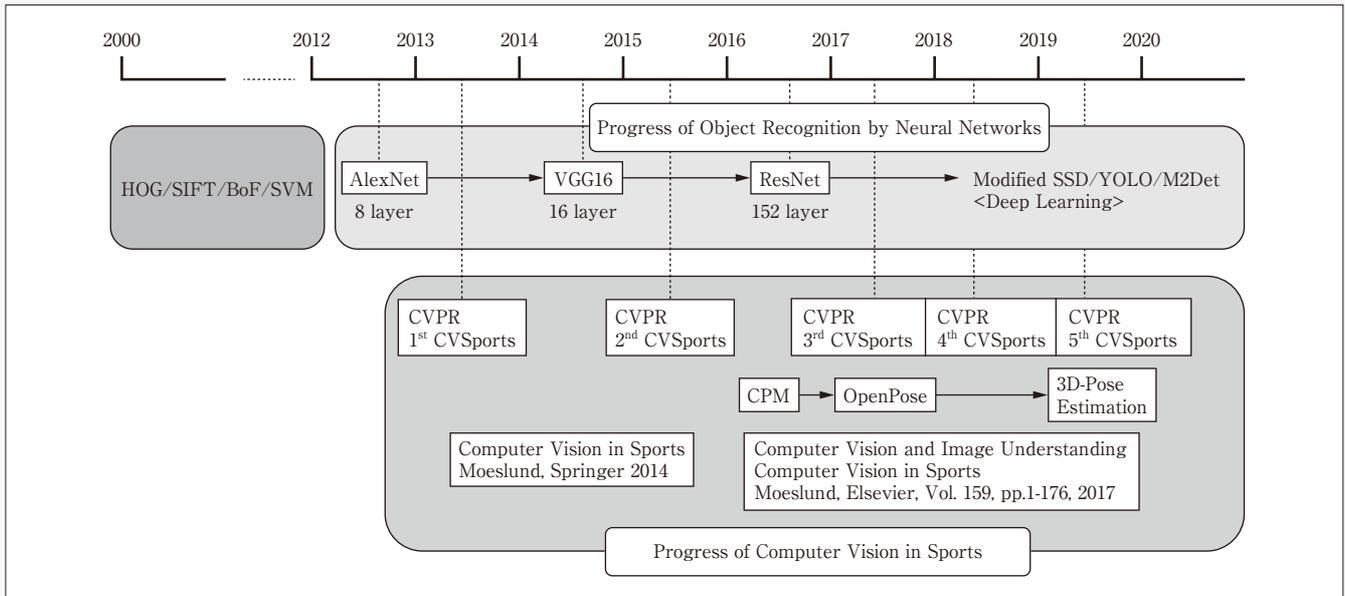


図1 コンピュータビジョンにおける深層学習の発展とスポーツ分野での応用

考慮してオクルージョンの問題を克服しつつ姿勢推定を行える手法である⁵⁾。CVPR 2019における論文の研究対象テーマを図2に示す。これらのうち、3番目には顔、ジェスチャ、姿勢 (Face, Gesture and Body Pose) が、14番目には動作認識 (Action Recognition) がリストされており、コンピュータビジョン全体の中でも注目を集めている。

CVSportsにおける研究発表対象領域を表1に示す。2013年にスタートした時点では、カメラと選手の位置と動きの推定、人と物体の追跡、行動認識、イベント検出、観衆監視、注釈と索引付け、グラフィクス重畳、傷害の分析、パフォーマンス評価が挙げられていた。2019年にはそれらに加えて、可視域外のセンサ、戦術分析、自動ナレーションとキャプション、トレーニング支援、拡張/仮想現実が加えられている。画像処理に直結した分野からより広い領域に展開しようとしていることがわかる。

CVSports (2015～2019) および2017年にElsevierから発行された“Computer Vision in Sports”における研究分野の変遷を図3に示す。当初、人やボールの追跡、シーン分類などが研究対象として注目を浴びたが、近年では人物の姿勢推定手法が高精度化した結果、個々の動作推定ではなくより長時間にわたる連続的な運動推定、運動認識に研究対象が移行している。

研究対象とされたスポーツの種類と論文数を図4に示す。図4より、サッカー、バスケット、野球、テニス、ゴルフなどの米国のプロスポーツの代表的なものが多いことがわかる。チームの勝利、利潤、観客動員、メディア・コンテンツとしての価値の高さから、潤沢な資金をチーム強化に充てることができるという経済的な側面が研究にも影響していると考えられる。

3. icSPORTS における研究動向

INSTICC (The Institute for Systems and Technologies of Information, Control and Communication) は、情報システムと技術、制御と通信の分野における知識を促進、開発、普及させることを目的とした学会組織である。icSPORTS はINSTICCが運営するスポーツ科学を支える工学、情報技術に関する国際会議であり、2013年から毎年欧州で開催されている。身体活動の改善、スポーツ医学、バイオテクノロジーと栄養学、スポーツマネジメントなど、スポーツ科学に直接または間接的に関連する多くの活動を支援することを目的としている。icSPORTSにおける研究発表対象領域の変遷を表2に示す。2016年までは、信号処理を基盤とした動作解析が優先項目として挙げられていたが、2017年以降はスポーツにおけるコンピュータシステムに着目されている。

CVSportsにおける研究対象の多くがトップアスリートのパフォーマンス向上やゲーム戦略などプロスポーツに近いものであるのに対し、icSPORTSではスポーツだけでなく、保健体育や健康フィットネスといった視点からの研究が存在することが特色である。表3にicSPORTS2019における詳細な領域内テーマを示す。第1領域である「スポーツにおけるコンピュータシステム」では、細項目はCVSportsにほぼ近いものとなっている。しかし、第2領域の「健康と支援技術」では、応用生理学と運動、健康とフィットネス、スポーツ医学の技術支援が挙げられており、医用工学に関連している。第3領域の「人体運動における信号処理」では、スポーツ生体力学、生体信号と生体デバイス工学、人体運動学における変動性と信号解析では、接触型デバイスを前提とした生体信号の処理が対象となって

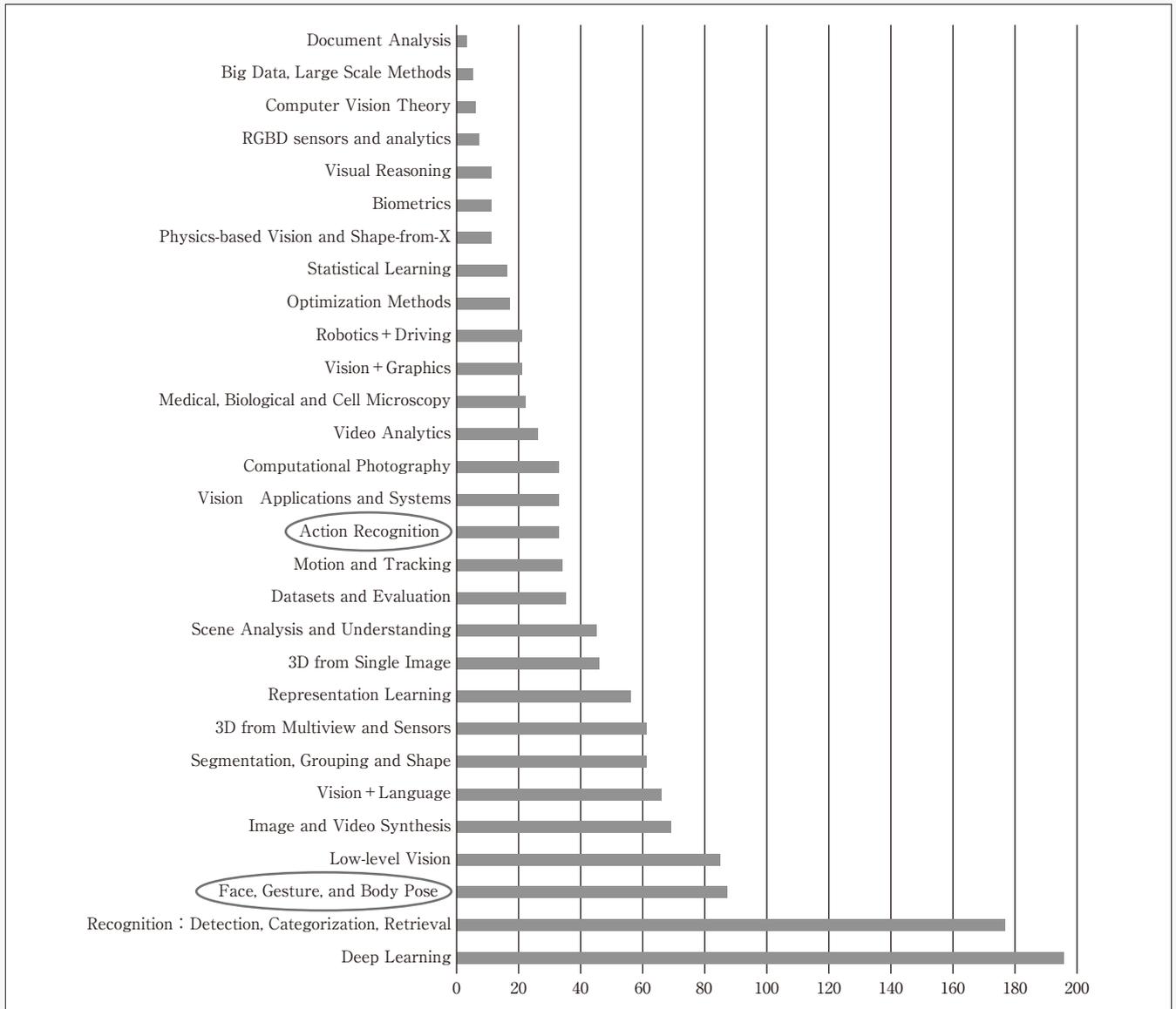


図2 CVPR2019における論文の研究対象テーマ

表1 CVSportsにおける研究発表対象領域の拡大

開催年度	細項目	
2019	2013	スポーツにおけるカメラと選手の位置と動きの推定
		スポーツにおける人と物体の追跡
		スポーツにおける行動認識
		スポーツにおけるイベント検出
		観衆監視
		スポーツにおける注釈と索引付け
		スポーツにおけるグラフィック効果
		スポーツ傷害の分析
		スポーツにおけるパフォーマンス評価
		追加
スポーツにおける戦術分析		
スポーツにおける自動ナレーションとキャプション		
スポーツのトレーニング支援		
スポーツにおける拡張/仮想現実		

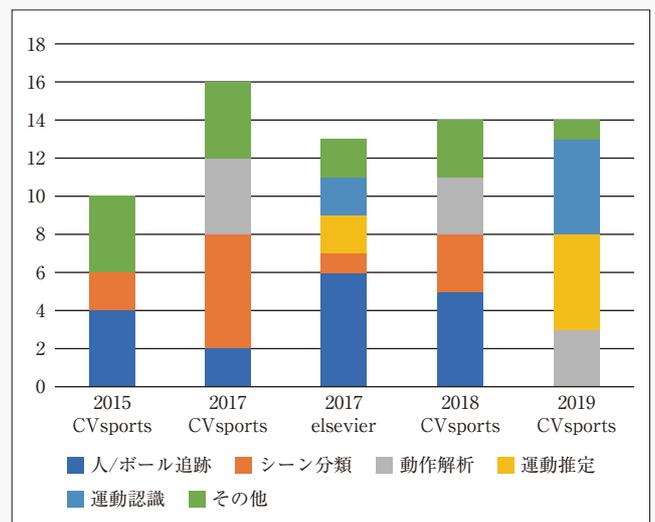


図3 CVSportsなどにおける研究分野の変遷

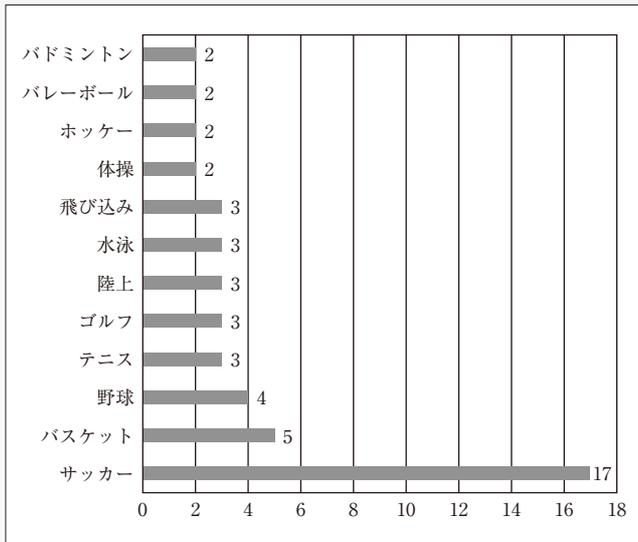


図4 CVSportsにおける研究対象スポーツ

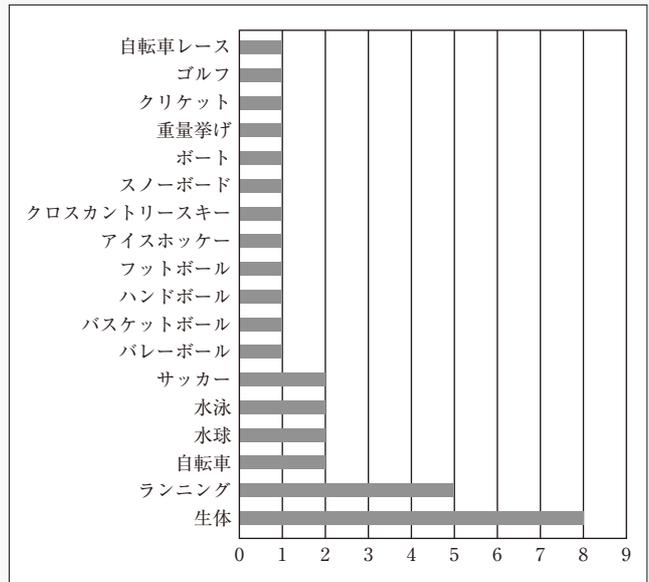


図5 icSPORTS2019における研究対象

表2 icSPORTSにおける研究発表対象領域の変化

	icSPORTS 2013～2016	icSPORTS 2017～2020
領域1	信号処理と運動動作	スポーツにおけるコンピュータシステム
領域2	スポーツ医学とサポート技術	健康と支援技術
領域3	健康・スポーツパフォーマンス・支援技術	人体運動における信号処理
領域4	スポーツにおけるコンピュータシステム	スポーツパフォーマンスと支援技術

表4 スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2019におけるセッション

パラリンピックサポート	ジャンプ, 空力	運動, 心拍, 心理
ウェアラブルセンシング1	やり, アーチェリー	人体, 水泳, 関節筋
ウェアラブルセンシング2	雪, 滑走, 解析	繊維, ウェア
バイオフィードバック, モータコントロール	動作解析, 運動計測	心理, 知覚, 環境
歩行, 動作, 推定	スプリント, 走経路	バイオメカニクス, 衝撃
車いす	野球, 把持, 操作	空力特性1
生体情報計測技術1	スイング, 動作	空力特性2
生体情報計測技術2	歩行, 動作	旋回動作, 肩関節
重心動揺, 画像, 姿勢	飛翔, 軌道	卓球, 反発特性

表3 icSPORTS2019における詳細な領域内テーマ

領域	細項目
1 スポーツにおけるコンピュータシステム	拡張現実, エクサゲーム, バーチャルスポーツ
	コンピュータ支援トレーニングと生体フィードバック
	マルチメディアと情報技術
	シミュレーションと数理モデリング
	スポーツ統計学と分析
2 健康と支援技術	スポーツにおけるニューラルネットワークとビッグデータ分析
	応用生理学と運動
	健康とフィットネス
	スポーツ医学の技術支援
3 人体運動における信号処理	スポーツ生体力学
	生体信号と生体デバイス工学
	人体運動学における変動性と信号解析
4 スポーツパフォーマンスと支援技術	コーチング
	トレーニングとテスト
	スポーツパフォーマンスハードウェアの新展開

おり、視覚だけに依存するコンピュータビジョンとは異なった方向にある。第4領域は、スポーツパフォーマンスと支援技術であり、アスリートトレーニングが課題となっている。icSPORTS2019における研究対象種別と論文数を

図5に示す。通常はスポーツ種別が分類対象となるが、スポーツではなく運動する人物(生体)を研究対象とするケースが多いことがわかる。また、対象とされたスポーツもバラシティに富んでいることがわかる。このような傾向は日本機械学会におけるシンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2019にも見られる⁶⁾。このシンポジウムのセッションリストを表4に示す。図5より、研究対象となるスポーツの種類が多い。また、セッション名に、対象スポーツ、対象動作、解析手法、デバイス名、研究領域などが混在している。このことから、運動の種類ごとに解くべき問題があり、非常に多様性に富んだ分野であることがわかる。

4. むすび

本稿では、スポーツ情報処理の研究動向を紹介する目的で、CVSportsとicSPORTSを取り上げた。前者はCVPRを母体とするため、当然のことながらコンピュータビジョンでどこまで運動解析、運動理解ができるかという点に主

眼が置かれる。一方で、icSPORTSではスポーツという枠組みを拡大した健康・フィットネスといった領域の科学的アプローチに軸足が置かれている。CVPRでは視覚情報に特化して動作解析手法の検討が進んだ結果、機械学習による動作解析手法はある程度体系化され、高精度化が進んでいる。しかし、実際の運動に適用して実用化するよりも、解析手法の追求に興味が集まっている。一方で、生体としての人間の活動を含めたスポーツ全般に対する研究は、icSPORTSやスポーツ工学・ヒューマンダイナミクスに見られるように、研究対象が多岐に渡り体系化が充分になされていない。また研究開発リソースが集中できないといった側面もある。情報処理技術、特に映像やセンサデータを駆使して解くべき課題がまだまだ多く残る分野であると考えられる。

(2020年5月12日受付)

〔文 献〕

- 1) 深代千之, 桜井伸二, 平野裕一, 阿江通良編著: “スポーツバイオメカニクス”, ISBN978-4-254-69038-5, 朝倉書店 (2000)
- 2) S.-E. Wei, V. Ramakrishna, T. Kanade and Y. Sheikh: "Convolutional Pose Machines", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2016
- 3) T.B. Moeslund, G. Thomas, A. Hilton, et al: "Computer Vision in Sports", Advances in Computer Vision and Pattern Recognition, ISBN 978-3-319-09396-3, Springer (2014)
- 4) Z. Cao, T. Simon, S.-E. Wei and Y. Sheikh: "Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017
- 5) D. Pavlo, C. Feichtenhofer, D. Grangier and M. Auli: "3D human pose estimation in video with temporal convolutions and semi-supervised training", Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2019
- 6) 日本機械学会シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2019, <https://www.jsme.or.jp/conference/shdconf19/>

〈付 録〉

OpenPose (github) :

<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>



3D human pose estimation (github) :

<https://github.com/facebookresearch/VideoPose3D>



3D human pose estimation (lab) :

<https://dariopavlo.github.io/VideoPose3D/>



わたなべ ひろし
渡辺 裕 1985年、北海道大学大学院工学研究科博士課程修了。同年、NTT入社。NTT研究所において、画像の効能率符号化およびMPEG標準化に従事。2000年より、早稲田大学教授。映像認識・深層学習に興味を持つ。工学博士。正会員。