

## 令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(情報学専門調査班)

### 情報学分野にかかる学術研究動向に関する調査研究 及び学術振興方策に関する調査研究 —情報学分野 でのオープンサイエンスの推進—

岡部 寿男(京都大学学術情報メディアセンター・教授)

学術研究の高度化が進展し、各学問分野の専門化・細分化が進むなか、独創的な先端研究・融合研究の推進による学術・社会のイノベーションの創出のためには、文系・理系の区分にとらわれない総合系領域たる情報学分野の強み・特色をさらに伸ばすとともに、異なる視点を持つ研究者の知を結集させ、異分野融合・新分野創成の促進を図ることが重要と考えられる。そのような視点から、研究担当者の専門である情報学の手法を用いて、さまざまな研究分野での学術研究や調査の成果に、当該分野の専門研究者だけでなく、あらゆる人々が自由にアクセスできるようにするオープンサイエンスを推進することによる学術研究の創発の可能性について調査を行った。研究に係る学術情報に適切なメタ情報を付加して分野横断的に検索可能とする大規模知識データベースを、我が国の学術ビッグデータのプラットフォームとして実現すべく、国立情報学研究所が研究データ管理サービス「Gakunin RDM」を開発している。その実証実験に参画し、実際に研究データ管理に用いてみて評価を行った。また、情報学と材料工学の学際研究領域であるマテリアルズ・インフォマティクスの分野で、実験データ収集 Web システムの開発や機械学習を利用した熱電材料の探索・設計など、オープンサイエンスに取り組み成果を挙げている若手研究者からヒアリングを行い、知見を得た。

並行して、学術研究の成果である論文や研究データ等のオープン化による研究の振興に関して、学協会などの非営利の組織が学術データを管理するための情報システムの在り方や具体的な運用方法について調査した。特に、情報学分野における電子ジャーナル出版やオープンアクセスの考え方について、ACM (Association for Computing Machinery) の電子出版サイトである ACM DL (Digital Library) の運用の状況や情報処理学会を含む他学会との連携による活用状況、ならびに米国での公的研究資金による研究成果のオープンアクセス化の検討状況についての

調査を行った。

### 情報学の分野に関する学術研究動向及び学術振興方策 —情報学とその周辺領域における新たな展開—

河口 信夫(名古屋大学 未来社会創造機構・教授)

情報学分野のうち、特に情報通信システム、位置情報サービス、モバイルコンピューティング、ユビキタスコンピューティング、機械学習、IoT、自動運転分野について、これらの分野に関連する国内会議・国際会議に参加し、セッション構成や発表論文の調査などを通じて研究動向調査を行った。また、専門分野の研究者との議論を通じて、当該分野の先端研究状況や、新たな研究の方向性・展開についての調査を行った。

ユビキタスコンピューティングとウェアラブルコンピューティングに関する最高峰の国際会議である UbiComp/ISWC2019 は、2017 年からは、年 1 回のメ切が来るカンファレンスモデルをやめ、年 4 回のメ切を持つ論文誌スタイルを採用している。年 1 回開催のカンファレンスは継続され、論文誌 IMWUT に採択されると、カンファレンスで講演する権利が得られる、という形態になった。結果的には投稿数は継続的に増大しており、2018 年は計 186 件、2019 年は 202 件のフルペーパー発表があった。なお、2018 年 8 月から 2019 年 5 月にかけて IMWUT への投稿数は 750 件、採択された論文数は 176 本であった。また ISWC はカンファレンス形式を継続しており、ロングペーパーの採択率は 13% であった。セッション構成は、非接触型の行動認識やメンタルを含んだ健康系が増えてはいるが、例年と比較して大きな変化は感じられなかった。

屋内における測位やナビゲーションに関する国際会議である IPIN2019 は、2010 年の初回から数えて 10 回目の開催を迎えている。屋内測位技術は、WiFi や BLE, UWB などの電波だけでなく、非可聴音や LIDAR, 画像, PDR, 磁気, 気圧といった様々なモダリティを複合的に利用する技術であり、ここ数年間で継続的に技術が進展し、実用化が進みつつある。IPIN では、毎回コンペティションを通じて様々な研究組織が技術を競い、その時点での有効性が確認

## 令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(情報学専門調査班)

できる環境を提供している。2019年は現地でデータ収集と検証を行うオンサイトトラックが2つと、事前のデータを用いるオフサイトトラックが3つの計5つのトラックでコンペティションが実施され、特に倉庫やレストラン内のシナリオ評価などが新しく取り入れられていた。

ユビキタスコンピューティングや、位置情報サービスにおいては、2019年は新たな変化が生まれた年ではなく、これまでの基盤の上に着実に新たな成果が積みあがった年といえる。一方、UbiComp などでは、10 Year Impact Award など表彰され、分野としての深みが増しつつある。

### 知覚情報処理分野に関する学術研究動向ーメディア情報の高度利活用に関する調査研究

谷口 倫一郎（九州大学大学院システム情報科学研究所・教授）

知覚情報処理およびそれに関連する人間情報学分野の国際会議等に参加すると共に、他の関連国際会議に出席した研究者と情報交換を行った。知覚情報処理分野、特にコンピュータビジョン、パターン認識、メディア情報処理では深層学習の利活用がさらに進んでいるものの、性能を出すためには大規模なデータが必要であり、その点がネックになっていた。この問題を解決するために、Semi-supervised learning, Self-supervised learning といった予め用意する学習データの量を削減するための手法に関する研究が進んでいる。機械学習ベースの手法は今後も主要なアプローチであり続けられると思われるが、学習データを少ないコストでどう用意するかといった問題が鍵である。また、学習データを収集する際のプライバシーやセキュリティの保持も重要な課題である。実社会での応用を考えるとビジョンだけといった単一のモダリティではなく、複数のモダリティ（マルチメディア）に対する処理技術の進展も重要であり、盛んに研究が進められている。特に、人間を中心としたインタラクションの認識・理解に関する研究は適用範囲が広がってきている。

加えて、知覚情報処理の関連する分野として人工知能など知能情報学分野の動向も重要であり、その点についても調

査を行った。人工知能分野のトップカンファレンスである AAAI では、機械学習、ビジョン、自然言語処理といった御三家に加えて、知識表現、制約充足問題、ゲーム理論など基礎的なテーマも継続的に研究が進められている。一方で、AI for Social Impact や Humans and AI といった「社会性」という点を意識した研究が多い点も重要である。これらに加えて、AI と教育や、倫理といった裾野の広い範囲で人工知能関連研究が熱心に進められている。実社会での応用が現実的になっている今、これらの研究は、人工知能技術の社会への適合性を考える上で極めて重要といえる。

### 計算機システム分野に係る学術研究動向に関する調査研究 ドメイン特化型アーキテクチャの新たな展開

天野 英晴（慶應義塾大学大学院理工学研究科・教授）

コンピュータシステム分野における最近の注目すべき傾向は、特定領域、特に深層学習における CNN (Convolutional Neural Network) の認識、学習フェーズの高速化、低電力化を目指した専用アーキテクチャの登場と普及である。深層学習の高速化には、従来、グラフィクス用専用アーキテクチャから汎用計算向けに展開した GPU (Graphics Processing Unit)、書き換え可能なハードウェアを利用した FPGA (Field Programmable Gate Array) などが用いられていた。しかし、これらのアーキテクチャは、汎用 CPU ほどではないものの、一定の範囲の問題を扱うことができ、かなりの汎用性、柔軟性を有していた。しかし、最近登場している領域特化型アーキテクチャ (Domain Specific Architecture: DSA) は、完全に対象とする分野に特化して、性能、消費電力が最適化されており、他の分野には使いようがないシステムである。さらに、Tensorflow などの領域に特化したプログラミング環境が確立しており、それを介してのみプログラムが可能となっている。このようなシステムの登場と普及は、深層学習を用いた AI 分野の進展の激しさに支えられている。クラウド用の AI アーキテクチャは FPGA を用いた Microsoft の BrainWave を除いて、クラウドコンピューティングの主役である Google、Amazon な

## 令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(情報学専門調査班)

どが自らチップを開発している点に特徴がある。中国の Baidu やアリババも独自チップを開発しているが、詳細は公開されていない。一方、IoT、自動運転、ドローン、ロボット制御用途の拡大により、エッジ用の DSA も数多く開発されている。これには AI ブームに乗って資金調達が容易になったベンチャー企業の参戦が目立つ。ロジックインメモリやアナログ計算アレイなど、従来は研究レベルでしか実装が行われていなかったアイデアが商品化されている。

### 「情報学基礎論関連分野に関する学術研究動向」、 「アルゴリズム、最適化分野に関する学術的動向 – AI、機械学習、深層学習などの情報分野境界領域への展開–」、 「基礎理論とアルゴリズム理論に関する学術的研究動向」

河原林 健一(情報・システム研究機構 国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系・教授)

過去5年の爆発的な深層学習による人工知能の発展において、数理を基盤にしたアルゴリズムの革新は大きなインパクトを持ち、SOCIETY5.0の礎として、社会の変革につながっている。またIT社会全体でも、基礎理論に基づくアルゴリズムは、現代社会の進歩を加速的に後押ししてきた。特に現在の情報検索、ゲノム情報処理、深層学習、プライバシー保護(差分プライバシー)などのアルゴリズム革新は国家規模のビジネス創成につながっている。ITビジネスの発展の歴史の中でも、Google、Apple、Facebook、Amazon(GAFA)を中心とした巨大IT企業は、著名な理論研究者を擁して様々な問題解決に貢献してきた。これらのIT企業は、現在でも常時10~20名の(理論的)アルゴリズムの専門家を抱え、彼らは、機械学習研究者、エンジニアなどと協力しながら、製品開発、システム構築に貢献し、さらに、それらに対する理論的保証を与えている。

このような背景のもと本研究員は、15年以上理論アルゴリズム分野を中心に仕事をしてきた。基礎理論系のアルゴリズム分野は、他の計算機分野と同じようにジャーナルよりも国際会議が重視される傾向がある。実際以下の3つの

国際会議がトップ国際会議とみなされている: STOC (Annual Symposium on the Theory of Computing)、FOCS (IEEE Symposium on Foundations of Computer Science)、SODA(Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms)また、近年、理論研究者は、NeurIPS、ICMLなどの機械学習の主要会議にも論文発表を始めた。

現在の大きな流れとしては、上記の通り、「理論研究者」が、「機械学習」にコミットするプログラムが世界に多く生まれている。例えば、プリンストン高等研究所では2017年9月からTheoretical Machine Learningという新しいプログラムが開始された。またバークレーのSimons Instituteでも機械学習寄りの研究テーマが非常に多い。例えば機械学習分野の大御所Michael Jordan氏も積極的にSimons Instituteにかかわっている。またこれらの流れに呼応し、以下のようなことが世界のトップ大学で起こってきている。

1. MIT、バークレーなどにおいて、College of ComputingあるいはDivision of Data Scienceなどの現在の機械学習の潮流を反映するような「学部」が誕生した。
2. 1の動きに呼応して、理論研究者が主要大学のDEANなどに就任。

これに対して欧州では、機械学習の大きな流れはないものの、北米を拠点として長年活躍してきた理論研究者が欧州に戻る動きがある。この理由は、機械学習などと違って、データ取得の心配がない点、そしてERC Grantなどの大型PI向けのGrantがあることが関係すると思われる。

### 知能ロボティクス関連分野に関する学術研究動向 – 知能ロボットの新たな潮流と実用化への展開– 近野 敦(北海道大学大学院情報科学研究院・教授)

ロボット工学は、ロボットの制御や動作生成、センサやアクチュエータの要素技術開発に留まらず、自動車の自動運転や無人航空機(ドローン)の自律飛行などに代表される機械の知能化、医療・看護・福祉支援、災害対策やレスキュー活動、農業や林業の自動化、など多くの分野を広くカ

## 令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(情報学専門調査班)

バーしている。近年のロボット工学における潮流として、大きな進展がみられる人工知能分野での研究成果を応用したロボットの知能化が挙げられる。

ロボットの活躍が期待されるさまざまな分野において、世界中の研究者が競技会で競い合うことにより実用的なロボット技術開発を加速させるための試み、World Robot Summit (WRS)が、経済産業省、NEDOの支援を受け、2018年に始まった。このように競技によって技術開発を加速させた例として、米国国防高等研究計画局(DARPA)が主催した無人自動車競技の、2004 グラントチャレンジ、2005 グラントチャレンジ、2007 アーバンチャレンジ、人型ロボット競技のロボティクスチャレンジなどがあり、WRSにおいても次世代のロボット技術開発を加速させることが期待されている。

ロボット技術で近年着目される技術に、衛星測位システム(NSS: Navigation Satellite System)の利用がある。衛星測位システムには全地球を対象とするGlobal NSS(GNSS)と、一定の地域のみを対象とするRegional NSS(RNSS)に分類される。ロボット学会誌2019年9月号(Vol. 37, No. 7)では衛星測位とロボティクスの特集が組まれている。この特集号では、GNSSの利用に関する解説のほか、建設機械のGNSSを利用した自動化、農業分野でのGNSS活用、自動車運転支援システムのためのGNSS利用に関する事例が紹介されている。

### 知覚情報処理、認知科学分野に関する学術研究動向 —人間情報学研究における深層学習のインパクトと展開—

中内 茂樹(豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授)

人工知能研究のなかでもComputer Visionと関係が深い視覚科学(Vision Science)との相互作用および融合に関する研究動向について調査を行った。国内外における様々な学術会議では、例えば顔認識や物体認識、シーン認識等について人工知能研究と視覚科学の知見の対比、CNNとヒトの能力の比較、CNNアーキテクチャとの関係などについて議論されていた。また、こうした新しい人工知能技術と科

学の融合事例として、VR/ARなどのクロスリアリティ技術を科学的手法として用いる試み、あるいはこうした新しい技術が与える感覚・知覚系へ与える影響、デザインなどへの応用に関する議論も活発である。こうした流れは、これまでの古典的な行動科学、人間情報学のアプローチとCNNなどの新規なアプローチの融合が加速度的に進んでいることを示しており、この傾向は今後も引き続き継続するものと考えられる。また、Computer Visionなどの認識系の技術のみならず、GANなどの生成系の技術も格段に発展しており、これらは応用へ直結しやすいことから、産業界との連携も今後一層進んでいくものと予想される。こうした流れとも関係し、可視化技術屋XR技術を応用する際に重要となる人間の知覚特性や感性の計測に対する関心も高まっているものと感じた。

### 統計科学関連分野に関する学術研究動向—信号処理 における統計科学の技術展開—

松井 知子(統計数理研究所・モデリング研究系・教授)

音声や画像などの信号処理で利用されている深層学習の手法について研究動向を調査した。近年はいずれの処理においても深層学習が活用されている。

[音声認識] 音声認識では、1990、2000年代にかけてはその手続きを隠れマルコフモデルやNグラムモデルの確率モデルで表すことが主流であった。近年では、音声認識の全ての手続きを深層学習モデルで置き換えたEnd-to-Endモデルが高性能を達成している。その結果、現在、遠隔発声や周囲雑音を処理する音響技術と組み合わせ、検索アプリやAI機器のコントロールなどで音声認識が広く実用されている。なお、音声認識の深層学習モデルの構造は複雑である。モデルパラメータ数も多く、学習に数百時間分の音声データを必要とする。

[話者認識] 話者認識においても音声認識と同様にEnd-to-Endの深層学習モデルが注目されている。話者認識は入力音声本人の発声かどうかを判定する問題である。話者認識の深層学習モデルの学習には本人の音声データが必要となるが、本人の音声データを大量に収集することは現

## 令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(情報学専門調査班)

実的ではない。そのため、GAN などの深層学習の生成モデルを用いて、本人の音声をシミュレーションする方法が検討され始めている。

[画像認識] 画像認識では、いち早く深層学習を活用しており、その研究は幅広い。ここでは、ドメイン適応の課題について研究動向を紹介する。従来のドメイン適応の研究の多くは、学習データが単一のドメインからサンプリングされることを前提としている。しかし、実際にはマルチソースのドメインのデータが利用できる場合が多い。マルチソースのドメイン適応については、ソース間の差異をモーメント・マッチング距離などで表し、その差異を小さくするようにモデルを推定してドメイン適応する研究例などがあるが、まだ決定的な方法はなく、一層の検討が求められている。

### 知能情報学分野に関する学術研究動向—人工知能研究における最適化(計画)問題の動向と潜在的な関係分野の発掘—

荒井 幸代(千葉大学大学院工学研究院・教授)

本調査では、既に実世界に供している「診断型」に対する知能化技術に対して、現状では囲碁や将棋などボードゲームをベンチマークとして進展しつつある「計画問題」を扱うための人工知能(AI)を支える技術動向を調査した。

「診断型」においては、既に普及している Deep learning (DL) で得られる結果(診断)に対して、Explainability (説明可能性)が担保されないということが課題として指摘されており、2015~2019年において Explainability 周辺の Tutorial は主な国際会議で実施されている。また、ほぼ同じ概念で persuasive (説得力のある)な結果を生成する方法は、特に Health, を扱う対象問題では重要視されている。

「計画問題」においてはボードゲームから実世界の計画問題、たとえば、実機を伴うプラント制御、交通制御、避難計画の最適化に対する適用を前提とした研究課題が増えている。さらに医療に対しても 医療「診断」から、「診療」や処方計画を含む「計画問題」へシフトしている。

制御系、機械系は元来「計画」に纏わる最適化問題を扱ってきたため、これらの分野が知能化技術を導入するという方向よりは、知能化技術への制御機械系の理論導入の方向であり、カルマンフィルタをはじめとする統計学をベースとして課題を共有した研究動向である。

医療に対しては、たとえば“precision medicine” 精密「個別化」という知能化技術が得意とする personalization や本来 AI が目指してきた説明可能な結果の生成が、計画問題の解法に対して求められている。解の説明が可能な方法として、数理最適化法の一つである動的計画法をベースにした強化学習(Reinforcement learning)が 1980 年代以来 2003 年頃から再び注目されてきた。既に浸透している深層強化学習は、深層学習に起因する説明可能性が課題である。強化学習は未知の環境を対象が売りであったが、実世界では予め環境モデルが所与であるのが一般的なため、順方向の強化学習よりは、むしろ Inverse reinforcement learning (逆強化学習)といった報酬を設計する方向の研究が中心である。これは Imitation learning (模倣学習)の一部として扱われることも多く、さらには Generative Adversarial Network (生成モデル)を導入した Generative Adversarial Imitation Learning (敵対型生成模倣学習)を皮切りに不完全データや粗(sparse)なデータに対する解決策の提案が近年のトレンドである。

### 情報ネットワーク関連および知能情報学関連分野に係る学術研究動向に関する調査研究

甲藤 二郎(早稲田大学理工学術院基幹理工学部・教授)

情報ネットワーク関連分野および知能情報学関連分野の国際会議等に参加し、情報収集、情報交換を行った。両分野に共通している大きなトレンドは深層学習の積極的な導入である。現在の深層学習ブームの発端は画像認識だったため、必然的に知能情報学分野に対する深層学習応用は長く続いているが、近年、情報ネットワーク分野の様々なタスクに対しても検討が進んでいる。

C. Zhang et al, IEEE Comm. Surveys & Tutorials, 2019 では、深層学習の情報ネットワーク関連分野への応用とし

## 令和元年度学術研究動向等に関する調査研究 報告概要(情報学専門調査班)

て、以下の9分野の報告事例をまとめている: ネットワークレベルのビッグデータ解析、アプリケーションレベルのビッグデータ解析、ユーザ移動モデルとデータ解析、屋内外の位置推定(ローカライゼーション)、無線センサーネットワーク応用、ネットワーク制御と最適化、ネットワークセキュリティ、信号処理、新奇なネットワークアプリケーション。基本的に、従来の情報ネットワーク関連分野のすべての研究開発課題に適用可能であり、国際学会でも発表件数は増加の一途にあると共に、キーノートも1件以上は機械学習が関係するテーマになっている。

一方、知能情報学分野では、いわゆるトップカンファレンスは規模が肥大化傾向にあり、企業からの発表や参加者も非常に多く、CVPR 2019 は約9000人、ICCV 2019 は約7000人の参加者に至っている。発表形式も、100個近い知能情報系のタスクが設定され、コンペティションスタイルでSTOA(State of The Art)を競い、性能改善を実現した上位の提案がメインカンファレンスに採択される。筆者に近い分野で言えば、深層学習を用いた画像圧縮は2回目のコンペティションで国際標準方式に準拠するBPG(Better Portable Graphics)の性能を凌ぎ、現在は雑音除去や超解像などの周辺分野との融合が進んでいる。