

令和2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)

情報学のうち、特に時空間情報システム、人流データ分析、ユビキタスコンピューティング、IoT、情報通信システム、モバイルコンピューティングについて、関連する国内会議・国際会議に参加し、研究発表の動向を確認するとともに、専門分野の研究者とのディスカッションを通じて、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。

2020年度は、COVID-19の猛威により、多くの学会・国際会議が延期・中止・及びオンライン開催となった。当初は困難を伴ったオンライン学会も、運営側・参加側の双方にも慣れが生まれ、スライドは見やすく、声が聞こえやすいといった良い面も注目され、さらにビデオの提出と複数回の質疑時間などの設定により、時差の考慮が行われるなど、学会開催手法にも多様な工夫が生まれつつある。一方、実際の学会や国際会議での偶然の出会い、休憩時間などに行われる研究者間の軽い議論を通じた情報交換については、大幅に減少し、分野に知人の少ない若手研究者をシニア研究者が紹介するといった機会も奪われてしまっている。これらについても、情報学分野にとっては新たな需要を満たす技術開発の場として期待できる。

情報学分野における学術研究の動向として、まず、ユビキタスコンピューティング分野の主要会議である UbiComp/ISWC2020 は、オンラインで開催された。論文誌 IMWUT に掲載された論文を発表する形態も4年目となり、Vol.3 Issue4 から Vol.4 Issue3 までで、論文掲載数は148本と、昨年度の176本から若干減少している。また、発表された論文も120件であり、2019年の202件から大きく減少している。セッション構成には、特に新しいテーマは登場していない。デモやポスターでは Gather.town というツールが利用されたが、やはり実際のデモ・ポスターと比較すると、まだまだ不十分な点が多く感じられた。一方、すべての発表が録画されオンデマンドで視聴できる点は、新たな国際会議の在り方を示しているともいえる。屋内位置情報に関するカンファレンスである IPIN2020 は、

COVID-19による影響でキャンセルとなった。同様に情報処理学会のモバイルコンピューティング研究会が主催する国際会議 ICMU2020 も延期となった。一方、センシングシステムの国際会議 Sensys2020 は、日本の横浜で開催予定であったが、現場とオンラインでのハイブリッドでの開催を行い、参加費を無償化したことにより、1800人を超える参加を得ており、オンライン会議ならではの成功の形を示していた。

情報学分野に関する学術研究動向及び学術振興方策 – 情報学により加速される分野融合研究の新展開 – 大川 剛直 (神戸大学大学院システム情報学研究科・教授)

我が国が目指す社会像である Society 5.0 において、情報学が要となる学問分野であることは、論を俟たないものであり、様々な分野領域を対象として、情報学が融合することにより、イノベーションを加速させ、社会的課題の根本的な解決を導くことが期待されている。そこで、本調査研究では、情報学分野の中でも、特に他分野との融合が活発に進行している研究領域を対象として、学術研究動向の調査を実施した。具体的には、国内外で開催される学会や研究集会における研究発表事例に基づき、どのような分野において、情報学との融合が進んでいるか、融合の度合いはどの程度であるか、情報学分野におけるどのような技術が主として使われているか、逆に融合相手の分野が情報学にどのようなインパクトを与えているかなどの観点から、分野融合研究の動向について分析した。

情報学分野に関する広範な範囲を対象として国内外で開催された複数の研究集会における発表内容を分析した結果、融合先に関しては、医療福祉関連や金融・経済分野との融合が全体的に高い割合を占めており、近年、特に注目を集めている。利用されている技術としては、深層学習を含むニューラルネットワーク関連が圧倒的多数である。一方で、これらの融合研究においては、情報学や情報技術を単純なツールとして利用しているケースが大半であり、融合の度合いはそれほど高くない。また、融合研究が新たな情報学的概念の創出につながった例はあまりなく、アル

令和2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)

ゴリズムの改良を促進するという形で情報学分野に影響を与えるに留まっている。

さらに、情報学と他分野の融合に関する学術振興方策の調査研究を目的として、研究費助成の動向について調査した。具体的には、令和元年度から2年度にかけて公募が行われた主に国内の公益財団法人が事業主体となっている研究助成事業の中から、情報学との関連が含まれるものをピックアップし、これらを対象に助成対象分野や規模・期間などについて調査・分析を試みた。調査対象のうち、純粋に情報学分野を助成対象としている事業の割合が2割程度に対して、情報学分野を活用することにより、他分野の活性を図ることを狙いとする事業が3割程度存在していた。また、支援上限額に関しても、平均すると後者が前者の1.7倍程度となっており、情報学の基盤に対する支援と同程度以上に、情報学を他分野に応用する取り組みに対する支援が強化されている傾向が見られた。

「計算機システム関連分野に関する学術研究動向 - リコンフィギュラブルアーキテクチャの調査 - 」

天野 英晴 (慶應義塾大学理工学部・教授)

Intel が Altera を買収して以降、FPGA を CPU、GPU と組み合わせる動きが加速した。市場への投入が予定より遅れたが、2018 年より本格的な利用が始まった Intel Stratix10 は、浮動小数演算用 DSP モジュールを搭載し、GPU に迫る計算能力と Hyperflex アーキテクチャにより 1GHz に迫る動作周波数を実現するという触れ込みで、このボードを用いて様々なアクセラレーションの試みが行われた。特に日本では FPGA と GPU を組み合わせたスーパーコンピュータ Cygnus が筑波大で、富岳のアクセラレータとして FPGA を多数接続した ESSPER が理研で稼働を開始し性能評価がいくつ報告されている。質の高い実装により性能向上を達成している研究もある一方、Stratix10 は期待通りの性能を得ることが困難であること、GPU などのソフトウェアの実装と異なり設計時間が大きい点が問題である。

また EU では、Xilinx 社の Zynq Ultrascale+ と Virtex

Ultrascale+ を組み合わせたボードを 512 枚高速シリアルリンクで直結するスーパーコンピュータ EuroEXA が構築されている。多数の FPGA を協調させる枠組みを構築するのが困難であり、今後の研究が待たれる。

FPGA を用いたスーパーコンピューティングよりも FPGA に向けた応用分野である MEC (Multi-edge Access Computing) への利用も注目されはじめている。タイミングクリティカルな多数の要求を扱うため、FPGA ボードをクラスタ化するアプローチが注目されており、PALTEK 社はこのためのボード MKUBOS を発売している。このボードは Zynq Ultrascale+ と、DDR4-SDRAM に多様な I/O と高速シリアルリンクによるインターコネクトを持ち、複数ボードを接続して MEC 用の FPGA クラスタを簡単に構築することができ、今後の展開が注目される。

「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 (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 10 年の爆発的な深層学習による機械学習の発展において、数理科学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。実際、深層学習の理論解析、および説明可能な AI (Explainable AI) は、数学によってのみ可能になると信じられており、数理科学に基づくアルゴリズム解析は、今後の当該分野のカギを握っている。

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度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 Google、Apple、Facebook、Amazon (GAFA) を中心とした巨大 IT 企業を生み出し、国家規模のビジネス創成につなが

令和2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)

っている。

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、過去 20 年にわたり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、ICLR 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、理論研究者が機械学習の主要国際会議にも論文発表するようになり、「理論研究者」が、「機械学習・深層学習」にコミットするプログラムが北米に多く生まれている。例えば、パークレーの Simons Institute でも機械学習寄りの研究テーマが非常に多い。これに対して欧州では、ドイツの人工知能研究者が先導した AI/機械学習のスタートアップを奨励するプログラムが発足し、数多くの理論研究者がスタートアップへのコミットを始めている。また ERC グラントなどの大型 PI 向けのグラントが、機械学習、深層学習に関連する研究・研究者に与えられている。

「知覚情報処理、認知科学分野に関する学術研究動向ー脳科学と人工知能研究の融合と進化ー」

中内 茂樹 (豊橋技術科学大学大学院工学研究科・教授)

人工知能研究と脳科学、特に視覚科学 (Vision Science) との相互作用および融合に関する研究動向、また VR/AR の教育・研究応用について調査を行った。国内外における様々な学術会議の多くは covid-19 の影響により中止または延期となったものが多かったが、2020 年後半から徐々に

オンラインでの開催が増えた。CNN や Deep Learning を脳科学研究と融合させる試みは年を経るごとに増えている。特に CNN の認識性能を人間のそれに近づける、例えば、人間のように「間違える」CNN を構成するために必要な条件を探索する研究や、学習後の CNN を分析することで、これまでの脳科学における常識 (例えば、第一次視覚野のニューロンは特徴検出器である、など) を再考する取り組みなどが目立った。また、AR/VR の教育利用に関しては、実験機材を AR 環境でリモート操作するシステムの開発が東フィンランド大学で進められており、教育の DX 化が着実に進化していることを実感した。また、新奥質感など、より複雑で高次の知覚次元の情報を捉え、再生あるいは加工する新しい科学と技術に関する研究プロジェクトや、意識の問題に理論的かつ実験的に取り組むプロジェクトなどが立ち上がっており、これらは人工知能研究が新しいフェーズに入ったことを象徴するものと思われた。

統計科学関連分野に関する学術研究動向ー時空間データ解析における統計科学の技術展開ー

松井 知子 (統計数理研究所モデリング研究系・研究主幹・教授)

時空間データ解析技術について 1) モデル化、2) 統計的検定の観点から研究動向調査を行なった。

1) 国内外で深刻化している COVID-19 感染状況の課題を取り上げて、感染状況予測のための 68 個の方法 (<https://github.com/cdcepi/COVID-19-Forecasts> 等) について、利用されている時空間のモデルを調査した。それらの方法の目的は“stay-at-home”などの介入が実施される場合の感染状況の予測である。そのうち感染症流行の代表的な数理モデルである、SIR/SEIR の常微分方程式モデルを基本的に用い、それらを拡張した方法は計 30 個、全体の 44%であった。また、機械学習・AI (深層学習を含む) を利用して、データからモデルパラメータを推定しようとするアプローチは 16 個、全体の 24%であった。ただし、深層学習モデルを利用した方法は 2 個と少ない。感染症に関わるデータの扱い (ノイズが多いなど) や量に深層学習

令和2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)

モデルを適用する難しさがあると考え。この他、ベイジアン・モデルなどの確率モデルを用いた方法は13個、回帰モデルを用いた方法は6個であり、統計的なアプローチは全体の28%であった。

以上の調査結果から、半分以上の方法が従来の常微分方程式モデルを(直接)利用しておらず、COVID-19の地球規模の脅威に際して、多くの機械学習・AI、統計の研究者たちが感染状況予測の課題に取り組み、機械学習・AI、統計のモデルが積極的に導入されていることわかった。

2) 時空間データ同士の同一性や近さを検定するための手法として、データの時間変化をマルコフ連鎖モデルで表現し、その空間的な分布の検定を行う分布検定の手法が報告されている。これらの手法では、時系列データの一方を参照データ、他方を検定データとした時に、参照データのマルコフ連鎖モデルに対してのみエルゴード性の仮定を置く必要があるが、検定データに対してはその仮定を必要としない。現在のところ、上記の分布検定の手法は実際の時空間データの解析で用いられた例は少ない。今後の応用研究への進展に期待したい。

情報ネットワーク関連および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(早稲田大学大学院基幹理工学研究科・教授)

情報ネットワーク関連分野および情報学関連分野の国際会議等に参加し、情報収集と情報交換を行った。2020年度は、登録した国際学会がことごとくバーチャル開催となり、すべてオンラインによる参加となった。

分野に共通している傾向は、この数年継続しているが、人工知能技術(とりわけ深層学習)の積極的な導入である。コンピュータビジョン系の学会(CVPR、ECCV)はほぼ深層学習に関連する成果発表で埋め尽くされ、これは信号処理と画像処理系の学会(ICASSP、ICIP)でも同様であり、さらに、ネットワーク系学会(Mobicom、CCNC、WCNC)でも顕著な増加傾向にある。これはキーノートにも表れており、半分以上が機械学習や深層学習に関係するトピックを取り上げている。

一方、成果発表のスタイルは学会毎に若干異なっている。コンピュータビジョン系の学会では、投稿時もしくは採択決定時に投稿論文がarXivに掲載され、学会開催の前後にはソースコードがgithubに公開され(学会もコード公開を推奨している)、学会発表時は研究者間である程度の情報共有が図られている。一方、ネットワーク系学会はここまでスピーディーでは無く、arXivに掲載する論文やgithubにソースコードを公開する論文もまだ限られている。信号処理、画像処理系の学会は、両者のちょうど中間的な立場にある。

国を取り上げると、米国と中国の競争が激烈である。参加したトップカンファレンス(CVPR、Mobicom等)において、それぞれ7割程度を米国と中国からの論文が占め、残りを欧州やアジアからの投稿が占める。中国上位校の研究者によれば、トップカンファレンスの比重をさらに重くしたそうである。また、ICIP 2020のホスト国がUAEだったように、これまで採択が少なかった国からの投稿も増えており、国際学会のグローバル化が着実に進行している。

CVPR、ICASSP、ICIP、CCNC、WCNCでは、情報収集に加え、深層学習の画像圧縮応用と通信応用に関する成果発表も行った。日本国内ではまだ注目度の低い研究テーマであるが、米欧に加え、東アジア諸国からの提案も既に活発に行われている。これらは適切な研究支援も受けており、国の研究開発の活性化を図るためには、海外動向を踏まえた、研究開発の裾野の時点からの支援が必要であるように思われる。

情報セキュリティ関連分野に関する学術研究動向 —実践的セキュリティ・プライバシー技術の動向調査—

四方 順司(横浜国立大学大学院環境情報研究院・教授)

情報セキュリティ関連技術を主対象にした世界トップクラスの国際会議として、CRYPTO、EUROCRYPT、ASIACRYPT、IEEE S&P (IEEE Security and Privacy)、ACM CCS (ACM Conference on Computer and Communications Security)、USENIX (USENIX Security Symposium)、NDSS (The Network

令和2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)

and Distributed System Security Symposium)の7会議がある。このうち、理論的成果(主に暗号関連)はCRYPTO, EUROCRYPT, ASIACRYPTで発表され、応用や実践性を重視したセキュリティ関連技術(サイバーセキュリティを含む)の成果は、IEEE S&P, ACM CCS, USENIX, NDSSで発表される。CRYPTO, EUROCRYPT, ASIACRYPTは、国際暗号学会(IACR)が主催する会議であり、これら3会議では理論研究論文が主対象であるものの、将来的に社会実装され得る暗号技術を見据えて、米国立標準技術研究所(NIST)が標準化を進めているプロジェクト(NIST Post-Quantum Cryptography, NIST Lightweight Crypto, CAESARプロジェクト)に関係している暗号技術に関する論文が見受けられるのが最近の特徴である。特に、NIST Post-Quantum Cryptography関連では、2018~2020年の過去3年間でCRYPTO、EUROCRYPT、ASIACRYPTいずれも4件の論文があった。また、過去3年分(2018~2020年)の論文の投稿数、採録数を調査し平均したところ、CRYPTOは投稿数366、採録数81(採録率22.1%)であり、EUROCRYPTは投稿数332、採録数75(採録率22.5%)であり、ASIACRYPTは投稿数289、採録数73(採録率25.2%)であった。また、IEEE S&P, ACM CCS, USENIX, NDSSの4会議についても同様に過去3年分を調査し平均したところ、IEEE S&Pは投稿数689、採録数83(採録率12.0%)であり、ACM CCSは投稿数819、採録数134(採録率16.3%)であり、USENIXは投稿数742、採録数123(採録率16.5%)であり、NDSSは投稿数472、採録数82(採録率17.3%)であった。これら応用系・実践系の会議における分野横断的研究として、情報セキュリティと機械学習分野に跨る研究動向が見受けられる。具体的には、差分プライバシー技術や秘匿計算技術が、学習データや学習モデルの秘匿、予測処理の保護等の目的のため利用されている。また上記7会議のうち、理論系の3会議における論文投稿数は徐々に増加傾向にあり採録率は20~30%の範囲内にあり、応用・実践系の4会議における論文投稿数は大きく増加傾向にあり採録率は10~20%の範囲内にある。