数理学と機械学習を活用した新たな光計測の開拓に向けて

金沢大学 理工研究域 機械工学系 応用光物理研究室
Applied Optical Physics Lab., Kanazawa University
〒920-1192 金沢市角間町 准教授 砂田 哲

TEL : 076-264-6447
URL : <http://www.me.se.kanazawa-u.ac.jp/physics/>

FAX : 076-264-6447
E-mail : sunada@se.kanazawa-u.ac.jp

1. 研究室内の概要

応用光物理研究室は、もともと大学に教養部があった平成7年以前の工学部共通講座の物理学教室がもとになっています。当時は理学部物理の出身者が主に所属しており、イオン結晶の物性研究などを行っていましたが、教養部廃止とともに工学部の学科へ分属することとなり、無理をして機械系に加わった経緯があるそうです。そして、機械工学が関わる教育研究へと少しずつ衣替えしていきました。

このような背景のため、光応用物理研究室は、現在でも伝統的な“機械工学”のイメージにとらわれていない研究室です。現在の所属メンバーは、物理系出身者だけでなく情報・光エレクトロニクス系の出身者までさまざまなバックグラウンドの研究者が集まった“ごちゃまぜ”な研究室です。このような研究室は本学・機械系の中でもかなり異色ですが、だからこそ各々の分野にとらわれない分野横断的な研究を進めることができ、そこから新たな知見が得られると考えています。

研究室内の関連キーワードとしては、光計測、非線形科学等の数理学、そして機械学習です。一見、まったく関係のないキーワードですが、その背景には共通点があり、相性が良い関係があります。これらを組み合わせて、「見えないものを見る」新たな光計測・情報処理技術、その基盤となるテラヘルツ・ミリ波生成技術、ナノフォトニクス技術や先端的な非線形科学と機械学習理論を取り入れたデバイス開発などにも取り組んでいます。

2. 研究室内のメンバー

光応用物理研究室には現在4名の教員と11名の学生(4

図1 2019年6月・自然科学棟本館大階段にて

年生含む)が所属しています(図1)。4年生から研究室に配属されますが、ほとんどが機械系出身なので、光技術や機械学習そのものには詳しくありません。そのため、研究室に入ってから機械学習や光技術の勉強をします。いろいろな知識を手早く身に付けることも重要ですが、得られた知見を自身で応用できるように、基礎をじっくりと勉強することも重要だと思います。4年生のうちは、しっかりと基礎を身に付けるように勉強して、できれば修士課程での研究に結びつけられるように、研究指導をしています。これにより、機械工学、数理・情報、機械学習、光エレクトロニクスなどの幅広い見識を有するユニークな人材を育成していきたいと考えています。

3. 研究内容

上述のとおり、応用光物理研究室では、機械学習や数理学に基づく新たな光計測技術の開拓を目的に研究しています。本稿では、精密工学と比較的関連がありそうな三つの研究を紹介します。

3.1 人に優しいBMIのための次世代・生体光計測

初めに、光を用いた先端レーザー応用計測技術として、人に優しいBMIのための次世代生体計測技術の研究を紹介します。「BMI」とは、Brain Machine Interfaceの略で、人と機械をつなぐ橋渡しとなる装置のことをいいます。人の頭部に近赤外光を当てて、散乱されてくる光の情報を分析すると、脳のどの部位がどのくらい活動しているかを、おおよそ知ることができます。しかしながら、これまでの技術では、脳活動の様子を精度良く計測しようとすればするほど計測に長い時間がかかってしまい、リアルタイムの計測ができないという問題がありました。当研究室ではこの問題を解決するため、プローブに入射する散乱光強度の角度分布を調べて脳活動の部位を推定する技術(図2)や、光ナノアンテナと呼ばれる技術に着目し、生体からの

図2 角度分解プローブの空間感度分布のシミュレーション (a) 照射点側に向けたプローブ (b) (a)と逆向きのプローブ

図3 (a) DHM (b) 記録される干渉縞 (c) 逆伝搬計算による再生像 (d) 機械学習を用いた再生像

散乱光を高感度かつ高速に計測する技術の確立を目指し、リアルタイムでの高精度生体計測技術の実現につながるような研究を行っています。

3.2 機械学習によるデジタルホログラフィック顕微鏡

ホログラフィは、光の干渉を利用した3次元の記録・再生技術です。ホログラフィ技術を用いた顕微鏡はデジタルホログラフィック顕微鏡 (DHM) と呼ばれており、近年ではバイオイメージングを中心にその活用が進んでいます。DHM は一般的な明視野顕微鏡とは異なり、計測対象の像ではなく、対象からの光によって形成された干渉縞をイメージセンサで記録します。この記録した干渉縞をコンピュータによる計算処理にかけることで、計測対象の像を得ることができます。干渉縞には光の強度だけでなく位相の情報も含まれるため、対象を3次元的に観察することが可能です。また、結像レンズを用いる必要がないため、小型・広視野な顕微鏡システムを実現できる技術としても期待されています。

一方で、DHM には再生像の品質や分解能の点で解決すべき課題が多くあります。そこで、私たちは機械学習による DHM の高性能化に取り組んでいます (図3)。例えば、一般的な DHM の像再生手法である逆伝搬計算では再生像に不要なアーティファクトが重畳してしまいます (図3 (c))。機械学習を用いてホログラムと計測対象の対応関係を学習させることで、従来よりも高品質な再生像を得ることができます (図3 (d))。

3.1 光リザバー・コンピューティング

リザバー・コンピューティングとは、ニューラルネットワークの分野で提案された比較的新しい概念・学習方法です (図4 (a))。最大の特徴は、入力に対して応答するシステム (例えばニューラルネットワーク) を情報の“貯水池”と見なすことで、高度な処理 (予測, 認識, 分類等)

図4 (a) リザバー・コンピューティング (b) 光リザバー・コンピューティングチップの写真と (c) その動作シミュレーション

を行うことができる点です。興味深いことに、ここでいう“システム”は必ずしもコンピュータである必要はなく、複雑・非線形に応答するものであれば、なんでも学習処理に利用することができます。そのため、物理現象そのものを学習・情報処理系として利用できます。本研究室では、光の広帯域性、無限の自由度がある波動性に注目して、光のスピードで高効率の情報処理が可能となる光リザバーコンピューティングチップの実現を目指して、研究しています。図4 (b) (c) に本研究室で開発した光リザバー・コンピューティングチップを示しています。このチップにおいて、わずか数十 μm 角の領域に 1000 を超える仮想的なニューロンを高密度に構築できるので、これにより予測や分類問題といった処理を高速に実行できます。また、光の波動性による仮想ネットワークをもとにしていますので、従来のニューロチップで問題となる配線爆発の問題も生じません。将来的には AI エッジ処理の加速化に有用と考えています。

また、リザバー・コンピューティングは、複雑な物理システムをそのまま情報処理に使えることを意味しますので、外部摂動に敏感に応答するシステムをセンシングデバイスに変えることもできます。本研究室では、ナノ・マイクロ領域のデバイスをリザバーと見なし、それを用いてマイクロ領域のバイオ・ケミカルな外部変化を検出できる新たなデバイスの開発にも取り組んでいます。

4. おわりに

本記事では、本研究の概要と光計測に関わる研究を中心に紹介しました。そのほかにも狭線幅のミリ波・テラヘルツ波の生成技術や、非エルミート性に基づくナノフォトニック・ジャイロセンサの開発等の新しい基盤技術の研究も進めています。幅広い分野の研究者が集まった本研究室だからこそ、既存概念にとらわれない新たな計測技術の開拓に向けて研究を進めていきたいと思いをします。