

## 「光のまま」演算処理することで省力化・高速化を実現させる

近年、デジタルネットワーク上を行き交うデータの量が爆発的に増大している。ただ、それら膨大な量のデータを演算処理する工程は、電子回路における集積密度などの制約によって、速度面の限界が近いと言われている。そこで、大学院情報生産システム研究科の高畑清人准教授は、光の信号を「光のまま」演算処理することで、データ処理の高速化や消費エネルギー低減などを実現させる技術の研究を進めている。

### 光伝送を高速化しても、データ処理速度がボトルネックとなる

デジタルネットワークの高度化、IoT実装機器の増加、さらにAIの普及・拡大とビッグデータ活用法の多様化などで、データトラフィック量は今後も指数関数的に増大していくことが確実視されている。その環境を支えるため、光ファイバや光送受信器、光ルータなどの性能を向上させ、より多くのデータを効率的に伝送するための研究が進められているが、それでもデータ処理速度の向上や消費エネルギーの抑制は限界に近いと考えられている。

「今の通信ネットワークでは信号伝送部分の多くは光化され、高速・大容量伝送が可能になっています。しかし一方で、光伝送路の末端やノード（中継器）での信号処理部分は、電子回路の性能限界のため高速化が難しくなりつつあります。光伝送の速度・効率を向上させても、ノードでのデータ処理速度がネットワーク全体の高速化のボトルネックとなるわけです」と、高畑准教授は説明する。

そこで高畑研究室が取り組んでいるのが、光の状態のまま信号を処理する技術の確立だ。「電気信号で処理している部分をどんどん光に置き換えていく。端的に言うと、フォトン（光の量子）のまま0.1.0.1...を制御できないかという研究です」。光と電気を近づけるため、光デバイスと電子回路を集積化した光電子集積回路の研究は、かなり以前から行われていた。高畑准教授も、以前からその研究に取り組んでいたため、研究室名は「光電子集積システム研究室」となっている。しかし現在は、電子の状態で0.1.0.1...の信号を作ることなく、「光のまま」演算処理する技術の確立に軸足を置いた研究に力を入れている。

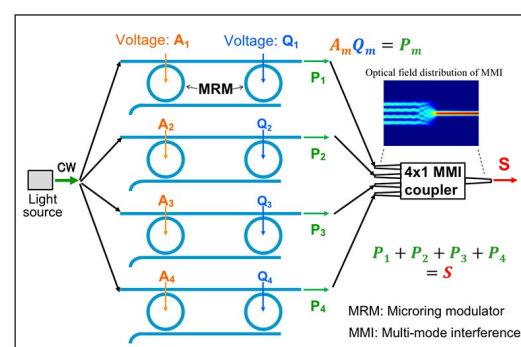


### 高速化、省エネルギー化だけでなく「省スペース化」も

デジタル信号処理を担当する集積回路（DSP）は、入力された信号を様々な方法で処理している。画像データを例にあげると、元画像の情報にフィルターをかけ、画像情報とフィルターの情報をマトリックス状にかけ算し、それを足し合わせる、畳み込み演算処理（積和演算処理）が、PCなどの端末内で行われている。その計算そのものを光でやってしまうというのが、高畑准教授の研究テーマだ。

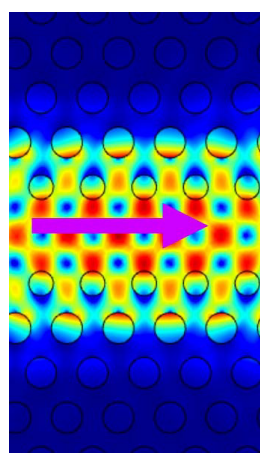
「最初にやってみたのが、マイクロリング変調器という光変調器を2つ重ねて掛け算を行い、足し算の部分も、マルチモード干渉分岐器を用いて光の状態で行う手法です。『フォトニック積和演算回路』と名付けたこの回路は、3年ほど前から研究をスタートさせたが、「足し算の部分がアナログ信号になっているので、信号の演算処理を研究している人たちから見れば、まだまだ不十分な面と思われるでしょう。電子回路でやっている積和演算と同じことを光回路だけでやれるようになるのは、まだ先だと考えています」。フォトニック集積回路をさらにアップグレードするため、現在は積和演算に限らず、より汎用性のある光演算回路の研究に取り組んでいる。ただ、汎用性が高い演算を光回路で完結しようとすると、回路規模も大きくなり、光信号のロスが発生しやすくなる。研究に用いるマイクロリング変調器やマルチモード干渉計などは、半導体レーザーと同様に温度変化に敏感なので、実用化に向けた研究段階に入るとデバイスや回路の見直しも必要になるだろう。それでも、高畑研究室をはじめ全国各地の大学や企業の研究機関などが、電気回路と光回路とを「融合」させる研究に力を入れているのは、データ処理の高速化と省エネルギー化、さらに省スペース化が可能になるからだ。

「近年、様々なクラウドサービスの利活用が盛んになっており、大手ICT企業が次々と大型のデータセンターを開設しています。データ処理が光回路だけで行えるようになれば、それら設備の省電力化、小型化にもインパクトがあるでしょう。光伝送部と電子回路による信号処理部のインターフェイスで必須となっている、光電気変換用のデバイスが不要になるからです。」例えば、ビル1棟分のデータセンターを1フロア程度まで小型化できれば、省スペース化と同時に、温度管理なども含めた消費電力も大幅に削減できるはずだ。そうした点からも高畑准教授の研究内容は、時代の要請に即したものだと言える。



2つのマイクロリング変調器で掛け算を行い、マルチモード干渉分岐器で足し算を行う、フォトニック積和演算回路

### 「遅い光」を活用して光信号を制御する技術



フォトニック結晶導波路を伝播するスローライト

高畑研究室には、「フォトニック結晶」を活用した光制御用デバイスを研究している大学院生もいるという。フォトニック結晶とは、屈折率が異なる物質を光の波長と同程度の間隔で並べたナノ周期構造の人工結晶で、光を小さな領域に閉じ込めたり、侵入できなくしたりと、光を操作する構造を作ることができる。現在、先進各国の研究機関が応用技術の研究しており、わが国の場合、フォトニック結晶レーザーが産業化の段階に入りつつある。

「様々な応用が期待されているフォトニック結晶ですが、我々としては『スローライト』と呼ばれる効果に注目しています。光を極端に遅くする、あるいは止めることによって制御しようというわけです」。

真空中では1秒間に地球を7.5周、光ファイバ内でもその2/3ほどの伝搬速度を持つ光だが、フォトニック結晶により非常に高い群屈折率を与えることで大幅に速度を遅くしたり、「光のまま蓄積」したりすることが可能だ。光を柔軟に操作できるようになれば、光メモリーや光位相調整器など多くの応用法が考えられる。光を遅くすることで物質との相互作用時間を高められるので、フォトニック集積回路を大幅に小型化することもできるだろう。

「うちの研究室には、前例のない新しい光回路の構成に取り組んでいる大学院生もいます。先述した信号処理の話も含め、面白い物理現象に興味がある、新しい事柄にチャレンジしたいと考えている学生に、研究室入りしてもらいたいと考えています。」新しい光デバイスやフォトニック集積回路の分野で次世代技術を切り拓く夢を持っている学生は、是非とも高畑研究室のドアを叩いていただきたい。

