

東京大学 先端科学技術研究センター 教授

いわもと さとし
岩本 敏 先生

今回のInterviewは、東京大学 先端科学技術研究センターを訪ね、岩本敏先生にトポロジカルフォトニクスなどのご研究についてお話を伺いました。

略 歴 2002年 3月 東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻 博士課程修了(工学博士)
2002年 9月 東京大学 生産技術研究所 助手
2003年 7月 東京大学 生産技術研究所 講師
2003年 9月 東京大学 先端科学技術研究センター 講師
2007年10月 東京大学 先端科学技術研究センター 准教授
2009年 4月 東京大学 生産技術研究所 准教授
2019年 4月 東京大学 生産技術研究所 教授
2019年 5月 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

受賞歴 2000年 応用物理学会講演奨励賞
2005年 International Conference on Solid State Devices and Materials Best Paper Award
2008年 電子情報通信学会エレクトロニクスサイエティ 活動功労表彰(2008年、2012年、2019年受賞)
2012年 文部科学大臣表彰若手科学者賞
2017年 APEX/JJAP Editorial Contribution Award(2017年、2020年受賞)
2018年 The 23rd Microoptics Conference, Best Paper Award(2018年、2019年(24th)受賞)
2020年 The 44th Laser Society of Japan / Distinguished Paper Award (Review Paper Section)
(2020年、2021年(45th)受賞)
2021年 OSA Fellow(現OPTICA Fellow)選出
2022年 ドコモ・モバイル・サイエンス賞 基礎科学部門 優秀賞



“一方向にだけ光が進む導波路の実現は、我々が目指している非常にチャレンジングな研究です。”

▶先生の現在のご研究についてご紹介ください。

我々の研究室ではフォトニックナノ構造という、フォトニック結晶を中心とした微細構造による光の制御に関する研究を行っています。現在はその中で三つのテーマを中心に研究しています。まず、トポロジカルフォトニクス、次にダイヤモンドナノフォトニクス、そして量子ナノフォトニクスです。

トポロジカルフォトニクスは、光の制御、伝搬などについて、トポロジーという新しい考え方で捉えなおし、これまでない機能や応用を探求する試みです。光を含む電磁波の挙動はマクスウェル方程式で記述され、通信やオプトエレクトロニクスといった形で世の中に広く普及しているフォトニクス技術はそれを基礎に発展してきました。ですが、電子回路のように小型な集積光回路に必要な光導波路にはまだ課題もあります。例えば構造欠陥や急に光導波路を曲げる際に、ロスが発生します。我々が力を入れているトポロジカルフォトニクスでは、トポロジーという概念をうまく使いこなすことで、仮に光導波路上に欠陥があっても、光が欠陥を感じることなく進行させることができます。また、ダイオードのように一方向にだけ光が進む光アイソレータの機能も小型な素子で実現できるかもしれません。一方向にだけ光が進む導波路の実現は、我々が目指している非常にチャレンジングな研究です。

ダイヤモンドナノフォトニクスは、Siや化合物半導体といった材料ではなく、ダイヤモンドを用いてフォトニック構造を作製し、光の制御を行う研究です。これは、内閣府が主導するムーンショット型研究開発制度の目標6、横浜国立大学 小坂英男教授がプロジェクトマネージャーを務める「量子計算網構築のための量子インターフェース開発」の

一部として取り組んでいるものです。ダイヤモンドナノフォトニクスの研究は海外では盛んですが、実は日本ではあまり進んでいません。我々が次回の学会で発表するのが、おそらく国内で初めてのダイヤモンドナノフォトニクスの論文ではないでしょうか。ようやくエアブリッジなどの中空構造が作製できるようになってきたところです。

最後に、量子ナノフォトニクスの研究です。さきほどのダイヤモンドナノフォトニクスとも関連するのですが、量子インターフェースの基盤技術開発などに関わる研究となります。例えば、小坂プロジェクトでは、量子コンピューターを別の量子コンピューターにつなぐため、超伝導量子ビットを、一度、光に変換する構想を描いています。量子ナノフォトニクスを発展させ、フォトニック結晶ナノ共振器などを用いてインターフェースとなるデバイスを開発していくのが我々のミッションとなります。将来どうなるか楽しみな夢のある技術かもしれません。

▶トポロジカルフォトニクスについて詳しくお聞かせください。

トポロジーとは“もの”の形を大局的に調べ理解する数学の一分野です。ボールとドーナツの例が有名で、ボールを連続的に変形していても、穴を開けるといって“不連続な”操作をしない限りドーナツに変形することはできません。この時、ボールとドーナツはトポロジカルに異なるといえます。物性物理の分野では、量子ホール効果のトポロジーに基づく理解を発端に量子スピンホール絶縁体やトポロジカル絶縁体などの新たな材料が見いだされています。これらの材料では、トポロジカルに異なる二つの構造が互いに接する境界(エッジ)において電子が一方向に流れます。これをトポロジカルエッジ状態といい

ます。このトポロジカルエッジ状態が、結晶中の電子と同様に、周期構造中を伝搬する光においても起こる可能性が、イギリス出身の物理学者ダンカン・ホールデン氏とその共著者によって2008年に初めて示されました。そして、その後2009年にMITがマイクロ波を使った実験でトポロジカルエッジ状態を実証しています。マイクロ波は周波数が低い分、磁場をかけると電磁波に対する応答が変化しやすい材料がいくつかあります。そのため、光に比ベトポロジカルエッジ状態を実現しやすい。しかし、最初にお話した、一方向のみに電磁波を伝送するトポロジカルエッジ状態を光で実現することは道半ばです。実現すれば欠陥があっても物理的に一方向にしか進まない小型の光アイソレータができることとなりますので、光導波路の高機能化、関連デバイスの小型化、集積化への道筋が見えてきます。この研究はとても野心的なテーマといえます。

ただ、一足飛びに研究は進みませんので、我々含め世界中で広く研究されているトポロジカルフォトニクスは、半導体だけで作製できる構造を用いたものです。その一つが、バレーフォトニック結晶導波路になります。バレーフォトニック結晶は、時間反転対称性をもつため、同じ界面で右に進む光と左に進む光が存在します。しかし、それでも急峻な曲げがあった場合、従来のフォトニック結晶より高効率な光伝搬が可能になります。Z型の急峻な曲げを含むバレーフォトニック結晶導波路(図1)では、曲げ部分でもバレー間散乱が抑制され、良好な伝搬特性が得られました。

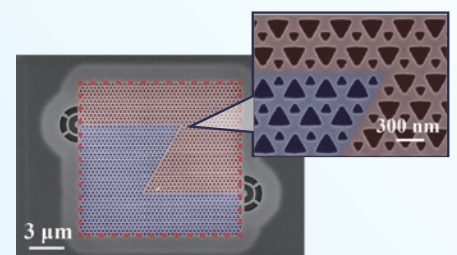


図1. バレーフォトニック結晶導波路



駒場IIキャンパス 連携研究棟 クリーンルーム

▶ **ご研究を始められたきっかけと、現在に至る経緯についてご紹介ください。**

私は、元々建築家になるつもりでした。実家が建築業を営んでいまして、子どものころから親を見ていて、なんとなく自分が継ぐものと思っていました。しかし、高校2年生の時の物理の川勝博先生の授業がきっかけで物理の道に進むことにしました。「川勝先生の物理授業」という本も出されている先生でした。どんな授業だったかという、まず実験的な題材があって、その実験結果を選択肢の中から予想させます。それから実験を行い、結果が出たところで、なぜそうなったかを後から解説する。そんな授業でした。

大学に入ったころは、光コンピューターや光情報処理というテーマが盛り上がっていて、光の分野の研究室に入ったのが現在の研究につながってきます。博士の時は、黒田・志村研究室で半導体の非線形光学の研究をしていました。その際に、荒川先生の研究室の装置を使わせていただいてサンプルを作製していました。自分で素子を設計、作製、評価、解析するという経験ができたのは大変良かったと思います。卒業後は、ご縁があって荒川先生の研究室に助手として入れていただいて、フォトニック結晶の研究を本格的に始めることになります。

トポロジカルフォトニクスのことは、2008年の論文で発表されてから、気になってはいました。そんな中、京都工芸繊維大の高橋駿先生が、まだ荒川・岩本研究室に在籍していたときにカイラルフォトニック結晶という螺旋状の三次元フォトニック結晶の研究をしていました。彼が2016年のある学会で、トポロジカル物理で大変著名な筑波大学の初貝先生の研究室の学生さんが同じような光のカイラル構造にトポロジカルエッジ状態が発現するという発表を聞いて議論をしてくれました。それをきっかけに共同研究が始まりました。初貝先生とは今でも一緒に研究をさせていただいています。また、ほぼ同じ時期にそれとは別に、音波を扱うフォノニック結晶という

分野で、弾性波に対してトポロジカルな効果を使う研究も行っていました。今でもフォノニック結晶の先生と議論したりしています。そういった出会いが積み重なり、トポロジカルフォトニクスの研究を始めるに至りました。

フォトニクスや材料科学を縦軸とすると、トポロジーというのは横軸のようなものだと思います。フォトニクスをトポロジーという横軸から見ると、他の分野と共通する概念があります。そのため、トポロジカルフォトニクスの研究を始めてから、分野融合的な共同研究や物理の先生がたとの連携も広がってきました。我々はトポロジーという概念で、フォトニクスを進展させようとしていますが、フォトニクスで実現した新しい現象が、異なる分野で新しいアプリケーションを生み出すかもしれません。ここもトポロジーという研究を行うおもしろいところと感じています。

“**InP系のフォトニック結晶のプロセスで大活躍しています。**”

▶ **弊社の装置をご使用いただいておりますが、ご感想をお聞かせください。**

サムコさんの装置は古くは1999年に導入されたICPエッチング装置RIE-101iPから、2023年に納入されるプラズマCVD装置まで多数使わせてもらっています。2021年に購入したICPエッチング装置RIE-400iPは、下部電極を200℃まで加熱できる仕様にしていて、ダイヤモンドフォトニック結晶(図2)や、トポロジカルフォトニクスでもInP系のフォトニック結晶のプロセスで大活躍しています。新しい装置は制御系も良くなっていて、いろいろな面でわかりやすくなっていますね。加えてサポートにも満足しています。荒川先生時代から使っているRIE-101iPのメンテナンスやケアをしてもらっていますし、壊れたときの対応も迅速と思います。また、技術の話をもすぐ相談できるのもいいところです。トータルで国内にこういったメーカーがあるのは我々研究者にとってありがたいことだと感じています。

▶ **日頃のご研究において、心掛けておられることをお聞かせください。**

一つは「Curiosity Driven (好奇心を原動力とする)」、我々の研究室はおもしろいと思ったことを考えてみよう、ということを大事にしています。もちろん、プロジェクトでターゲットが決まっていて、それに向かった研究もありますが、ルールを進むだけでは学生にとっても面白くないだろうと思っています。また、私や誰かに言われたことを研究するのではなく、自分でストーリーや計画を立てて、失敗してもいいから取り組んでみるということを学生に勧めています。闇雲に進めればいいというよりは、尻込みしているなら試してみたらという感じでしょうか。バランスが難しいですが。

もう一つは、人のつながり、というのを大事にしています。いろいろ議論して楽しく考える

ため、なるべく学生の部屋に行くようにしたり、ご飯を一緒に行ったりを心がけています。岩本研究室を経て、学生たちが大きく羽ばたいてくれるのが一番いいことだと思うので、縁の下の手持ちではないですが、彼らの成長を助けて少しでも後押ししてあげられればいいと思います。

最後に、学生たちとは、教員と学生の関係ではなく、研究者と研究者の関係で話したいと思っています。もちろん質問されれば教えることはあるわけですが、私が言うことだから絶対と彼らに思わないでほしいですし、また、学生さんが言うことに新しい知見もあるので、それは大事にしたい。さらに、博士を取る人には、少なくとも自分のテーマについては私より詳しくないと博士はとれないと言っています。やはり専門家ですからね。

▶ **座右の銘をお教えください。**

わずかな時間も無駄にしてはならないという意味の「一寸の光陰軽んずべからず」ということを日ごろから思っています。普段からこの言葉を使っているわけではないので、座右の銘とは言わないかもしれませんが、趣旨は合っています。時間は大事で、少しの時間も大事に過ごそうと考えています。また、休むというのも大切な時間の使い方、オンとオフというメリハリを大切に、ずっと研究だけにならないように心がけています。

▶ **休日はどのようにお過ごしでしょうか？**

最近は忙しくて、週末もなかなか長い時間休みが取れていないのですが、私はウォーキングが好きで、週末に何kmも歩いたりします。あとサウナが好きです。時には、メールもほとんど見ない、完全にオフの日を作ってサウナに行きます。ウォーキングもサウナもその時は仕事のことを忘れて無になれるというか、良いリフレッシュになるので、そうすることが多いですね。

▶ **最後に弊社に対して、一言お願いします。**

我々の研究を支えていただいて、大変感謝をしていることを最初に申し上げたいですね。高い技術力で、日本の先端研究を支えていただいていると感じています。近年日本では、いろいろな場所で、基盤技術、基礎技術を持たない選択が進んでいるように感じます。ファウンダリーサービスなどが良い面もありますが、一方でローカルに培ってきた技術が失われることになりかねないと危惧しています。サムコさんには、基盤技術を生み出す装置メーカーとして、最新のプロセス技術を提供し続けていただきたいと期待しています。さらに言わしていただければ、その技術をオープンラボのような形で、どんな研究者でも使えるプラットフォームで運用していただければと思います。

お忙しいところ貴重なお時間をいただき、ありがとうございました。

“**高い技術力で、日本の先端研究を支えていただいていると感じています。**”

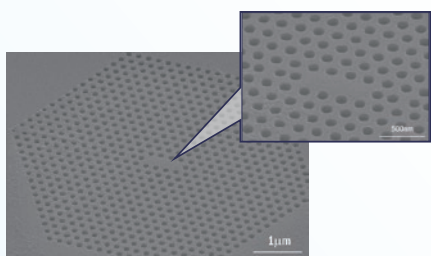


図2. ダイヤモンドフォトニック結晶構造