

## ナノオプティクス研究の醍醐味

小野 篤史\*・井村 考平\*\*・酒井 優\*\*\*・岩見健太郎\*\*\*\*

### はじめに

ナノフォトニクス研究分野で活躍されている井村考平先生、酒井優先生、岩見健太郎先生に専門分野の現状と将来展望について伺った。早稲田大学の井村先生は近接場光学顕微鏡に各種レーザー分光法を組み合わせて、金属ナノ構造体に励起されるプラズモンの空間特性、時間特性の可視化をはじめ、さまざまな試料に対する局所的な光学特性評価に取り組まれている。山梨大学の酒井先生はマルチプローブ近接場光学顕微鏡を開発し、窒化物半導体ナノ・マイクロ結晶やその集団におけるレーズング特性を評価されている。東京農工大学の岩見先生はプラズモニックな周期構造を用いた位相子波長板や MEMS (micro electro mechanical systems) アクチュエーターと組み合わせた位相変調器、誘電体ナノ構造を用いたメタサーフェスレンズやホログラフィックデバイス応用に関して研究されている。

### 1. 近接場光学顕微鏡の最近の研究動向と将来展開について

**井村** 私は開口型の近接場プローブを使ってずっと研究してきたが、世の中としては金属探針のアパーチャーレスが多く、サブ nm~20 nm で可視化できるということで研究されている。最近では走査型トンネル顕微鏡 (STM) との組み合わせが出ており、STM プローブ先端と試料間に非常に小さなキャビティーができて、分子が見えるほどの空間分解能が出る。理論的な裏付けもあって、最近盛り上がっている。

**小野** 研究としては原子・分子が見えるというのがホットになりそう、注目されているということですかね。

**井村** そうですね、今後、新たな展開があると思う。開口型の近接場光学顕微鏡に戻すと、時間分解のほうは私もずっとやってきているが、測定の大変さもあるのかそれ

ほど多くの研究報告はない。

**酒井** 私もプローブの材料となる光ファイバーは国内メーカーから買っている。イルミネーションコレクションモードや高感度測定には 2 段テーパーがよいが、光ファイバーが手に入らなくなると継続が難しくなってくる。

**小野** 透過観察系や SN 比を考えると開口型が適していると思うが、実用化面では開口型は難しい？ 最近、原子間力顕微鏡 (AFM) ラマンは色々な企業で開発販売されているが、開口型のニーズは低いのか？

**井村** カンチレバーのように再現性よく同じものができて、先端が硬く耐久性もあればいい。AFM は各社が出していてノウハウが蓄積されているので、メーカーとしてもやりやすいというのがあると思う。

**岩見** そういう意味では、AFM もあるけど SNOM (走査型近接場光学顕微鏡) もつけられるよ、という顕微鏡のほうが発売しやすいのではないかと、ファイバーだけだと、これで見えないという特徴がないと普及していかないと思うし、共有設備で汎用性が求められるという背景もあると思う。

**小野** 開口型について、科学技術分野では今後どうなっていくかの方向性は？

**酒井** プローブを 2 本使って局所励起、局所観察を行う場合は、散乱型より開口型が適している。また開口型は、低温測定など手の届きにくいところに SNOM を構築する場合に有利。

**井村** 対物レンズの先端に微粒子を付けて、空間分解能が上がるという報告がある。そういうものであれば開口型も展開しやすい。ベクトルビームを使うなど、照明法を工夫するなどの展開も考えられる。

### 2. メタレンズの最近の研究動向と将来展開について

**岩見** 2016 年に、ハーバード大の Capasso のグループが TiO<sub>2</sub> のメタレンズを作って注目された。可視光でメタレンズを作ろうとすると、透過率の高い材料は屈折率が低くなるので高アスペクト比の構造が必要となり、な

\*静岡大学 E-mail: ono.atsushi@shizuoka.ac.jp

\*\*早稲田大学 E-mail: imura@waseda.jp

\*\*\*山梨大学 E-mail: sakaims@yamanashi.ac.jp

\*\*\*\*東京農工大学 E-mail: k\_iwami@cc.tuat.ac.jp

かなか作製できない。そこで Capasso が発表した幾何学的位相を使うと現実的なアスペクト比で作製できるようになったというのが偏光依存型メタレンズ。

**小野** 将来的に、スマホ用のレンズなどの小さいところに使われそうか？

**岩見** 色収差を可視光全域でとって、NA を高くというのは難しい。単色の応用が現実的と思う。Capasso グループもベンチャー企業を立ち上げていて AI の画像処理のほうで頑張る様子で、単純に今のレンズの置き換えにはならないと思うので、応用先を考える必要がある。

**井村** メタレンズは、設計指針に基づいて、電磁気学シミュレーションして、作製するという流れか？

**岩見** そうですね。サブ波長単位構造で位相遅延を 0 から  $2\pi$  得られるかが指針で、原理としてはプラズモンのアンテナ共鳴や、ミー散乱の位相遅延などが使える。この要素にバリエーションをもたせてどう配置するか。

**井村** ある程度バリエーションが決まっていてその先が難しくそうだが、まだまだバリエーションはある？

**岩見** ミー共振の話は検討できることがあると思う。可視は加工が大変で、高アスペクト比が難しいが、ミー共振であれば背の低い誘電体で実現できる可能性がある。磁気共鳴、電気共鳴を合わせたカーカー条件で  $2\pi$  動かせるなどの報告もある。

### 3. ナノオプティクス分野について 20 年後 30 年後に成し遂げたいこと、本分野に期待すること

**岩見** 今取り組んでいるデバイスが製品化されると嬉しい。ナノフォトニクス、メタマテリアルはなかなか出口がないというのも大変なところで、何かキラアアプリケーションが見つかるといい。メタマテリアルは企業も注目しているが、それでないとできないことというのを示していくことが大事と思っている。

**井村** ナノフォトニクスは光を集めるのが得意なので、いろいろなところに役立つと思う。化学・生命化学科に所属しているので、化学反応に使いたい。プラズモンを触媒として機能させたという報告がある。光を集めて触媒として機能させ、化学反応を高効率化したい。光エネルギーをうまく利用するには、光を集めて、電気にするか熱にするかという機能も必要になる。そういうところではナノフォトニクスが貢献できると思う。光はエネルギー源として、情報源として使え、その制御性が以前より上がっているので、これを使った技術が今後発展していくと思う。

**酒井** 研究室レベルにあるものの実用化を期待する。私が

ナノフォトニクスを始めた 20 年前から比べると、いろいろ新しいことがわかってきていると思う。将来ビジョンとしては、小さくすれば省エネになるとか、ただサイズが小さくなっただけというのではなく、小さくしていったときに初めて発現する、近接場の新しい性質を使ったナノサイズ特有の現象を機能として活用できるようになればおもしろい。

### 4. 学生など若い科学者に対して一言

**岩見** 私の所属の機械システム工学科は、博士卒でも就職に困らないし、新しいことも出てきているので、どんどんドクターコースに挑戦してほしい。いろいろできるようになったところで卒業するのが惜しい。修士課程の学生でも、インターンや授業でなかなか研究に専念できないというところもある。経済的な支援が増えてきたこともあるし、今はドクターに来ないと落ち着いて研究にのめり込めないの、ぜひチャレンジしてほしい。博士は世界的に通用する資格でもあるし、チャンスも広がる。

**井村** 自分のやりたい研究、自分が興味をもったことに突き進めるのは大学のときだけ。指導教員が研究をガイドするかもしれないけれども、自分で進められるというのが一番面白いところで、誰もやっていない研究を自分が進めて世界で初めて理解するというのがすごく楽しいことだと思う。それができるのは博士課程の時期で、自分の好きなことに純粹に取り組めるすごいチャンスだと思う。修士は就職しやすいとか博士では難しいとか、噂に惑わされてしまうかもしれないけれど、博士課程に進学しても世間で言われているほど就職に困ることはないと思う。どちらかという、企業で求められている人材に合っているのは博士課程の学生だと思う。自分で課題設定ができて、問題の本質を捉えることができ、主体的に進めて、フィードバックをかけて、問題を解決して、さらにより良くしていく、そういう経験を積んでいるのは博士課程の学生です。企業でもそういう人材を求めていくようになると思う。現状では、博士課程に進学するということをすぐに決断するのは難しいかもしれないけれど、もう少し先を見据えて、自分がいかにやりたいことができるか、世界で活躍することができるかということを考えて、博士課程に進んで研究を楽しんでもらいたいと思う。

**酒井** 岩見先生、井村先生がおっしゃる通りだと思う。付け加えさせていただくなら、最近の大学の研究は目先の結果にとらわれているものが多いが、すぐに役に立つかどうかという物差しにとらわれず、興味のあることや好

きなことを自由に研究する人が育ってほしい。そういった環境をわれわれが作らなければならない。

#### おわりに

基礎研究の重要性が認知され、研究の醍醐味を知った博

士課程学生が増えることに期待したい。ナノオプティクス研究分野の今後のさらなる発展を願い、座談会を終了する。最後に、座談会に出席いただき金言をいただいた井村先生、酒井先生、岩見先生にこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。