



<自己紹介・研究紹介>

研究項目 A01:公募研究

「有機半導体材料による双安定テラヘルツメタマテリアルの創製」

研究代表者 松井 龍之介 (三重大学)

公募研究で参加させて頂くことになりました松井です。簡単に自己紹介をさせて頂きます。

私は 1998 年に大阪大学工学部電子工学科の吉野勝美先生の研究室に卒研究生として配属されました。その後、博士号取得までお世話になることとなります。配属当時の研究室の主な研究テーマは、導電性高分子の電界発光、レーザー、光電変換、フェムト秒ポンプ・プローブ分光、強誘電性液晶自己保持膜の基礎物性、フレクソ分極、ディスコティック液晶のキャリア移動度のタイム・オブ・フライト測定、カーボンナノチューブ成長とフィールドエミッションなど、極めて多岐にわたっており、これらを横目で眺めながら広く勉強させて頂きました。また、これらにも増して吉野研究室が特に力を入れていた研究が、チューナブル・フォトニック結晶に関する研究だったように思います。国際共同研究ということで、フォトニック結晶の提唱者である John 先生や、後にポストク時代のアドバイザーとなる Vardeny 先生等が研究室を訪れられ講演される機会まであり、多くの刺激を受けました。私自身の卒研テーマは強誘電性液晶／フォトクロミック分子複合系の光誘起相転移に関するものでした。その後、非線形光学ポリマー材料としても知られるアゾ高分子にレーザー干渉露光により形成される表面レリーフ構造を利用した、あるいはコレステリック液晶の自己組織化的ならせん周期構造形成能を利用したフォトニック結晶の作製と、主にレーザー素子への応用に関する研究に携わるようになりました。当時、吉野先生を始めとし研究室メンバー面々から受けた様々な影響が、メタマテリアルといった新規研究分野へ参入するにあたってさほど躊躇無く飛び込めた原動力になっているように思います。

2004 年 3 月に博士の学位取得後、日本学術振興会特別研究員としての身分を利用して、アメリカ Utah 大学物理学科の Vardeny 先生の研究室に加わりました。学振特別研究員としての任期は残り 1 年でしたが、その後さらに 2 年お世話になることとなります。渡米当時 Utah 大では ARO グラントの支援のもと、物理の Vardeny 先生、Efros 先生、Shi 先生 (現 UC Riverside)、電気コンピュ



一ター工学科の Blair 先生による Metallo-Dielectric Photonic Crystal に関する共同研究が行われており、私もこのプロジェクトに参画することとなりました。この面々ならびにポスドク・大学院学生で毎週ミーティングを行っていましたが、当時議論されていた内容は、人工オパール・フォトリソグラフィを利用した金属-誘電体フォトリソグラフィ結晶の光学的性質と熱輻射特性、Ebbesen 等の報告した金属開口アレイでの異常透過 (EOT) 現象、Pendry 等の負の屈折に関するものでした。EOT 現象については渡米直前の 2004 年 3 月の応用物理学会でのシンポジウムで耳にして知っておりましたが、負の屈折に関しては当時始めて触れることとなりました。Efros 先生は Pendry の superlens の論文に否定的で、それに異を唱える内容の論文を出されるほどでしたが、実験屋の私には全く理解できず、また当時はまさか自分がそんな小難しいメタマテリアルの研究に将来携わるとは考えもしませんでした。

私にまず与えられた研究テーマの一つが、高ドーピング金属状態に転移させた導電性高分子薄膜における EOT 現象に関するものでした。手探りで研究を開始しましたが、Vardeny グループでは既に可視・近赤外での分光研究の実績があるとのことで、まずは手始めにポリチオフェンを使ってみようということになりました。ポリチオフェンのドーピングによる金属転移といっても、話には聞いたことがあるものの私には実際に取り扱った経験がなく、近赤外での実験と平行しつつまずは文献を読み漁っておりました。そのうちに、高ドーピング導電性高分子が光学的に見て金属的に振舞うにはテラヘルツ周波数まで対象周波数帯域を下げてやる必要がありそうだということに気づき、そのこととポリチオフェンよりもポリピロールが良さそうだという考えを Vardeny 先生に進言しました。普段はワンマンなところのある気質のボスもこの進言は聞き入れて下さり、この研究テーマはしばらく保留ということになりました。それからしばらくして、学会出張帰りの Vardeny 先生から、「高ドーピング・ポリピロール試料を提供して頂く話をまとめてきた」とのお話を伺った時は非常に驚いたのを覚えています。これ以降、テラヘルツ分光の専門家である Utah 大電気コンピューター工学科の Nahata 先生との共同研究がスタートしました。Nahata グループの非常に優秀な大学院生 Agrawal 君 (現 NIST) とは毎日のように実験・議論しましたが、忘れがたい貴重な財産であります。共同研究立ち上げ当時は、研究というよりも色々な交渉事に大変な思いをいたしました。ポリピロールに開口アレイを施すために共用施設のエキシマー・レーザー加工機を使用しましたが、そのメン



テナンスに精通した人物が他に無いということで、以前に解雇していた技術職員を呼び戻すなんてことまでありました。余談ですが、この頃の経験が私の英語力を大いに鍛えてくれたように思います。

Nahata グループとは共同でもう一つ面白い仕事をしました。準周期や非周期開口アレイにおける EOT 現象に関するものです。これは Vardeny 先生が SPIE で納富先生の Penrose 型 2 次元フォトニック準結晶におけるレーザー発振のご講演を聴かれ、同様の構造における EOT 現象に興味を持たれたのをきっかけに始まりました。この話を Nahata 先生に持っていったところ奇遇にも、「自分も興味があってちょうど図書館から本を借りてきたところだ」と仰りながら、バッグから準結晶に関する本を取り出されたことはよく覚えています。とは言っても、当時グループの誰も準結晶について深く知らず、私にまず課された仕事は準結晶について調べてグループメンバーにレクチャーすることでした。親うさぎうさぎの話から始まり、高次周期構造からの投影や Generalized dual method など、Penrose tiling に関する理解を皆で徐々に深め研究を進めていったことは良い思い出であり、今日の大きな糧になっています。

私がメタマテリアルに関する研究分野に興味を持ち始めたのもこの頃（2006 年の始めごろ）です。Nahata 先生が特にご興味をお持ちで、Agrawal 君からいろいろな話を聞かされたのがきっかけです。学生時代にフォトニック結晶の概念に触れた時も深い感銘を受けましたが、SRR など人工構造体による負の透磁率など、理解が深まるにつれその内容の革新性と、Pendry という研究者の偉大さに深い感動を覚えました。その頃までには上記 ARO プロジェクトも終了しており、Efros 先生の難解な話ではなく Agrawal 君から聞く話が身近に感じられたのも大きかったように思います。またこの頃、Utah 大数学科の Milton 先生というメタマテリアル研究者の存在を知りました。Pendry 先生と時をほぼ同じくしてメタマテリアルの概念に独自に辿り着いた人物です。何度かお話をすることは得ましたが、残念ながら共同研究には至りませんでした。

私が Pendry 先生のご講演を始めて直に聴いたのは 2006 年の夏のことです。シドニーにて開催された ETOPIIM という国際学会に Vardeny 先生の代理で出席した時でした。この学会初日の基調講演をされたのが Pendry 先生と Milton 先生でした。この頃までにはメタマテリアルの何たるかもある程度は理解しており、両先生のレクチャーを楽しく拝聴することができました。この頃には、日本に帰国した後にはメタマテリアルの研究を始めてみたいなどの考えを漠然



と抱いていたように記憶しています。米国留学時代には SPIE や MRS などに参加し、Shalaev や Zheludev などの講演も聴くことができました。これらもメタマテリアル研究への参画を決める大きなきっかけになりました。

2007年2月末に帰国し、3月1日付にて三重大学に着任致しました。以降、他に無い独自のメタマテリアル研究を進めて行きたいとの考えから、有機機能性材料によるメタマテリアルの研究を行っています。「新たな金属元素を発見する可能性は限りなくゼロに近いが、導電性高分子による“金属”材料には無限の可能性はある」などと、ポストク時代に SPIE かどこかの学会で話した記憶があります。今までのところあまりうまく行っているとは言えませんが、地道な努力を続けて行きたいと思います。今年度からは本新学術領域研究の公募班として参画させて頂くこととなりました。恩師吉野先生からは「船頭は遠くを見て艫を漕ぐ」と教わりました。大学も厳しい状況で近視眼的な研究テーマになりがちであると自戒をこめて思いますが、メタマテリアルのような新規学術テーマに長期的な視野に立って取り組んで行きたいと考えています。少々大きいかもしれませんが、幕末維新さながらの一大革命が光物性の研究分野でまさに現在進行形で進んでいると感じています。この大事件をタイムリーに目撃している、そして自ら研究に参画させて頂いていることに望外の喜びを感じます。よろしくお願い致します。