



<計画研究代表 自己紹介>

研究項目 A01:計画研究ウ

「構造共鳴を利用したマイクロ波の偏光及び伝播制御」

北野 正雄(京都大学)

研究項目 A01 計画研究 ウ「構造共鳴を利用したマイクロ波の偏光及び伝播制御」の代表者の北野正雄です。簡単に自己紹介をさせていただきます。

私は 1974 年に京都大学工学部の小川徹先生、藪崎努先生の研究室に学部 4 年生として配属されて以来、量子エレクトロニクスの分野で、光ポンピング、色素レーザーや半導体レーザーの周波数安定化、光双安定性、光カオスなどの研究を行いました。その後、プリンストン大学物理学教室で 2 年間研究する機会を得、光ポンピングによる放射性希ガス原子核の偏極の実験に参加しました。1987 年からは、同じく工学部の小倉久直教授の研究室に移りました。小倉先生は電磁界理論と確率過程の専門家です。あまり多くの共同研究はできませんでしたが、電磁波の問題に関していろいろ議論していただいたことは、現在でも貴重な財産になっています。一方でベリー位相、近接場光学や原子のレーザー冷却、量子ゼノ効果などの研究を行いました。当時近接場光学は生まれたばかりの新しい分野であり、その原理や有用性に関して、侃侃諤諤の議論が戦わされていました。私は近接場というものを、より身近に感じたいと思い、マイクロ波での実験を始めました。波長が数センチメートルなので、近接場の分布を直接プローブすることができるからです。マイクロ波領域ではパラフィンが可視領域のガラスと同程度の屈折率を持つので、光の実験を簡単に模擬することができました。これらの実験を通して、電磁波における波長のスケールビリティを実感することができました。量子エレクトロニクス分野はレーザー（マイクロ波におけるレーザー）から始まり、光領域に向かったのですが、個人的には歴史を遡及したことになります。

メタマテリアル関連の研究を始める直接のきっかけとなったのは、「なぜブルースター無反射現象が TM 波にしか存在しないか」という素朴な疑問です。（実は、大学院の入試問題の作成過程で気づいた疑問です。）簡単な計算によって、光の媒質が誘電体であるためであるということが分かりました。そして、高周波で動作する磁性体を用いれば、TE 波に対するブルースター現象が実現できることも分かりました。光の実験は無理としても、マイクロ波において実験に適した材料がないか、文献や周囲の専門家などにたずましたが、なかなか良い材料

が見つからず諦めてしまいました。2000年ごろになって、Pendryらのメタマテリアルの論文を読んで、スプリットリング共振器のことを知り、これは使えそうだと思います。しかし、設計指針や特性の計算方法がよく分からず、すぐ



2002年サンタバーバラでのワークショップにて。Leonhardt、Smith、Pendryなどメタマテリアル分野の有名な研究者が参加した。

には何もできませんでした。

2002年の夏、カリフォルニア大学サンタバーバラ校の理論物理研究所(KITP)で開催された「量子光学」に関する研究会に参加する機会を得ました。議論されたテーマは群速度制御(速い光、止まった光、早い光)とメタマテリアル(負屈折現象)に関するものです。オーガナイザーの一人であるバークレーのChiao先生とは、1990年ごろから、Berry位相の研究を通して交流があったのですが、中西俊博さんと研究していた速い光(superluminal light propagation)というもう一つの共通テーマに関して、参加のお誘いをいただきました。参加者は30名程度 期間は3週間、セミナーは午前中に1~2名の発表があるだけで、午後は自由時間というゆったりとした集まりでした。各自、オフィスと名前シールを貼ったコーヒーカップを与えられ、図書室、コピー機も自由に使えて、最新のテーマに関する研究所のメンバーになった気分を味わうことができました。こういう贅沢さは日本でも工夫すれば不可能ではないと思われま。その後の持続性のある効果を考えれば、意味のある贅沢です。ちよっと話が脱線しましたが、このワークショップに参加して、メタマテリアル



の第一線研究者からの最新情報に直接触れることができたことが、TE ブルースター問題に再度挑戦する強い動機づけになりました。2003年、玉山泰宏くんの卒業論文のテーマとして、研究がスタートしました。

メタマテリアルは可視域やテラヘルツ領域における新規デバイスの実現や、実際的な応用への期待が非常に高いのですが、現実的には帯域の狭さ、損失の大きさ、製作の困難さなど、課題を抱えています。一方、多く分野からの研究者の協同による幅広い探究の成果が徐々に始まっています。さらに、メタマテリアルは電磁気学の基礎という、すでに完成していると思われていた分野に再び光を照射する役割も担っています。たとえば、電磁気学で有名な EB, EH 論争は形而上的な視点が強く、現実味のある議論にならない場合が多かったのですが、メタマテリアルという実物を前にして、電磁場の構成要素としての E, B, D, H それぞれの役割の正確な理解が必要となってきました。電磁波の速度についても、位相速度、群速度、エネルギー速度、信号速度に関する正確な理解が必要になってきました。その他にも、粗視化、マイクロ方程式とマクロ方程式の関係、電気磁気対応、構成方程式の重要性、普遍定数としての真空のインピーダンスの意味づけ、単位系のあり方など、多くの興味深い課題があります。さらに、メタ原子は一般的に古典力学でよく記述されるため、文字通りの「古典電磁気学」が意味をもつ場面が出てきたことも重要な展開だと思われます。その一方で「量子メタマテリアル」という、少し茫漠としたテーマも検討されはじめています。いずれにしても、マクスウェル方程式成立から 150 年を経た現在に電磁気学の周辺を再考することは、大変楽しい課題です。