



## <研究紹介・自己紹介>

### 研究項目 A02 公募研究「透明マントの設計とその応用研究」

研究代表者 落合 友四郎 (大妻女子大学)

私は、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻で、場の量子論などの理論物理学を研究テーマにしました。その後、京都大学化学研究所、富山県立大学などを経て、現在大妻女子大学に在職しています。私のバックグラウンドは、理論物理学で、現在は、電磁気学の理論的側面に興味を持って研究しています。電磁気学理論は、非ユークリッド幾何学や複素関数論などとも深く関係していて、非常に美しい理論構成をしており、古典論でありながら、いまだに解明されていない興味深い話題も多いです。特に、私は、Transformation Optics (変換光学) といわれる電磁気学の理論的側面を研究しています。

屈折率が違う媒質を光が通過すると、光が屈折したり反射したりすることは良く知られています。蜃気楼などは、そのもっとも典型的な例です。最近、これら光の経路が媒質を通ることによって曲がることを利用して、いわゆるハリーポッターの「透明マント」を作り出すことが現実性を帯びてきています。もちろん、ハリーポッターの「透明マント」はSFの中のフィクションですが、最近、脚光をあびているメタマテリアルなどを使うと、電磁場の方向をうまく迂回させることにより、あたかもその物体が存在しないように見せることのできる「透明マント (不可視装置)」が物理的に可能であることがわかってきています。研究では、我々の考案した Plus-Minus 構成法を発展させ、透明マント (不可視装置) の設計方法を研究しています。また、メタマテリアルを用いて媒質の境界面の反射を抑える新しい方法についても研究しています。

これまで、いくつかの透明マントの設計方法が提案されてきたが、異方性媒質利用による製造の困難さ、境界付近での媒質のパラメーター (誘電率、透磁率など) の発散や、位相遅延、媒質境界における反射の問題など、製造可能な完全な透明マントの設計にはさまざまな問題がありました。特に、等方性媒質による設計では、数学の定理である Nachman's theorem により、等方性媒質では位相遅延、媒質境界における反射の問題を完全になくすような”完全な”透明マント(perfect invisibility) は不可能であると広く信じられていました。

ところが、我々の考案した Plus-minus 構成法をもちいることにより、既存の提案さ

---

れた装置の限界を打ち破り、等方性媒質で 2 次元の **perfect invisibility device** (完全な透明マント) の設計図を具体的に完成させました。完全というのは、位相遅延がゼロで、かつ反射もゼロということです。これまでは、数学の定理である **Nachman's theorem** により、等方性媒質では **perfect invisibility** (完全な透明マント) は不可能であると広く信じられていたのですが、我々の考案した **Plus-minus** 構成法はこの定理の仮定を回避することができます。

我々の考案した **Plus-minus** 構成法とは、正と負の屈折率を持つメタマテリアルを巧みに組み合わせる方法です。これに関する最近の研究成果 (図 1) として、**Plus-minus** 構成法に 3 つの共形変換を組み合わせることにより、より自然に透明マントを構成できることが分かり、屈折率分布の不連続となる媒質境界面でおこる複数の反射がお互いに打ち消し合うことを見出しました。このことにより、**Plus-minus construction** には、反射を抑える上手い仕組みが自然に内在していると思われ、透明マントの設計だけでなく、広く他のデバイスの反射の問題にも応用できるのではないかと考えられます。研究では、これら我々の考案した構成法を発展させ、透明マントの設計方法について研究すると同時に、反射を抑える仕組みについても研究し、メタマテリアルの応用に関して、さまざまな新たなアイデアを創出したいと思います。特に以下の 3 点について明らかにしたいと思います。

- 1、**Plus-minus construction** 法による等方性媒質を用いた透明マントの設計
- 2、カーペットクロッキングへの応用
- 3、負の屈折率をもつ **Moving media** の光学的性質の研究

通常の透明マントでは、全方向から光が迂回するように設計するので、変化の激しい変換関数を用いる必要があります。そのため、必要とされる屈折率分布は大きなレンジをとり、実現可能性を低くすると思われれます。ところが、最近、カーペットクロッキングという新しいクロッキング技術のアイデアが提案されています。カーペットクロッキングとは、鏡のようなカーペット状の媒質の一部に膨らみを持たせて、そこに物を隠すようにしたものです。そこに上手く屈折率分布を与えると、光があたかもフラットな鏡を反射したように見え、こぶの部分が中身も含めて、外界から消えたようなイメージを与えます。もちろん、このカーペットクロッキングは透明マントとは言えないが、変換関数として穏やかなものを用いることができるので、必要とされる屈折率分布が少なく済むという利点があります。そのため、透明マントより実現可能性ははるかに高いと

---

いう利点があります。これについてはすでに実験的な研究もされており、このカーペックローキングに対しても、われわれの考案した plus-minus 構成法が用いることができる可能性が高く、この方向でも研究を進めたいと思います。

現在のところ、メタマテリアルは、透明マント、完全レンズなどの新奇なデバイスへの応用が考えられているが、いまだその数は限られています。負の屈折率などを利用して、産業界にインパクトのあるキラーデバイスのアイデアが求められているところです。また、そのようなキラーデバイスの考案が、メタマテリアル研究を物性物理学、材料工学の真に中心的な研究分野へと成長させる原動力となるでしょう。私は、これまでの研究を踏まえて、透明マントの新たなアイデア、さらにメタマテリアルを用いた媒質境界面における反射を抑える新しい方法などについてなど、さまざまなアイデアを提案する研究をすすめたいと思います。これらのアイデアおよび理論研究は、キラーデバイスへの第一歩となり、メタマテリアル研究を大きく飛躍させる一歩になると思います。

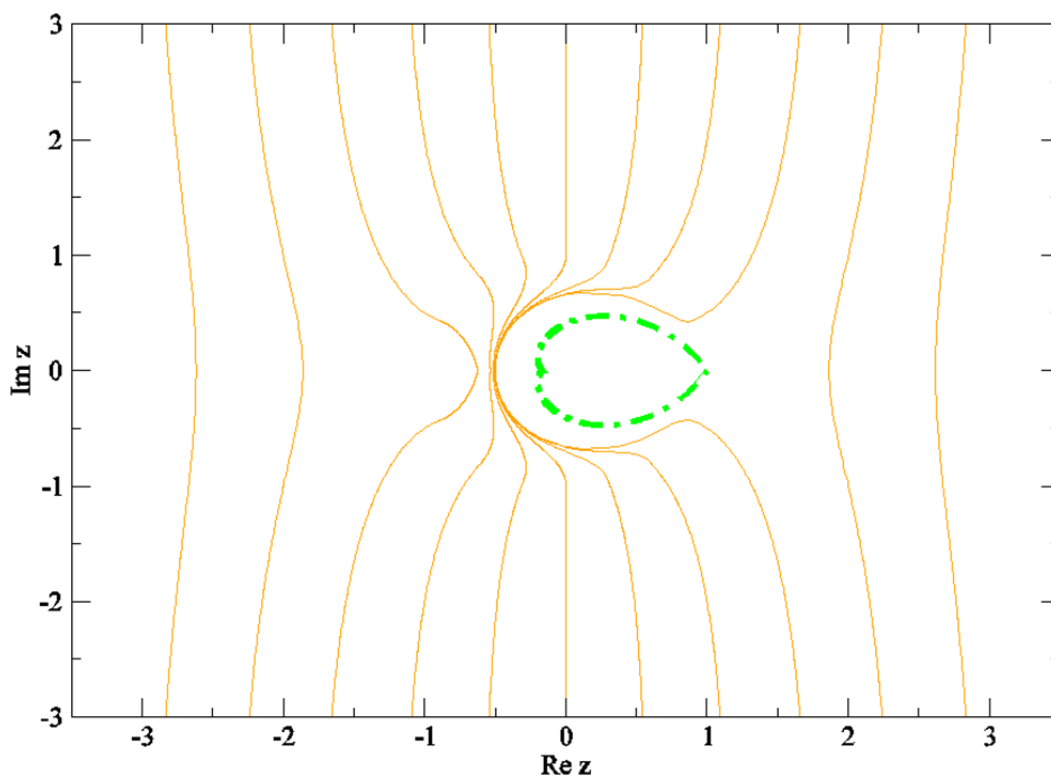


図 1. 物理空間における光の軌跡（中心の緑の点破線の内部が不可視領域）