



## 王焯氏の論文紹介

電気通信大学情報通信工学科 武田 光夫

王焯氏は、2001年に中国科学技術大学大学院で理学博士（物理学）の学位を取得後、国費留学生および日本学術振興会特別研究員（DC1）として電気通信大学大学院電気通信学研究科情報通信工学専攻に所属し、2006年に同研究科 COE コヒーレント光科学コースを修了して博士（工学）の学位を取得した。現在は電気通信大学 COE 博士研究員として、光波動場の統計的な性質について基礎から実際の産業計測への応用まで幅広い研究を行っている。

近年、光マニピュレーションや量子もつれの研究に関連して光子軌道角運動量をもつ光渦場に対する関心が高まってきている。今回の受賞論文は、光波動場と全く同一形式をした波動方程式にしたがう複素コヒーレンス関数についても、光波動場の場合に類似した「コヒーレンス渦場」や「コヒーレンス場の軌道角運動量」が存在し、それらに対して流体力学的な種々の保存則が成立することを初めて理論的に示し、実験によりその存在と保存則の成立することを実証したものである。このような「コヒーレンス場の力学」に関する研究は内外ともになく、未踏の新研究分野を照らす曙光とでもいふべき性格の研究であり、新規性、独創性が高い。

論文 1) は複素コヒーレンス関数のジェネリックな渦場の位相特異点を初めて観測し、光波動場に対して Berry が理論的に予言した位相特異点近傍の楕円等強度軌跡と円形等光強度流線がコヒーレンス場にも存在し、楕円等強度軌跡に沿った螺旋波面の位相変化のダイナミクスが古典力学の Kepler の運動法則に従うという Dennis 予測の正当性を初めて実験的に確認したものである。コヒーレンス渦場の存在とその性質を定量的な実験により実証したことの意義は大きい。

論文 2) は複素コヒーレンス関数の渦場にポテンシャルに支配されたコヒーレンス流 (coherence current) が存在し、流体力学の保存則と同形式の保存則が成立することを理論的に予測し実験的に検証したものである。「コヒーレンス場の流体力学」という新しい概念を初めて導入した点で独創性がきわめて高い。

論文 3) は上記の 2 論文がスカラー波動場のコヒーレンス関数に関するものであったものを任意の古典的なベクトル電磁場のコヒーレンス関数に拡張して、コヒーレンス運動量、コヒーレンス角運動量を導出して理論的な一般化をはかったものである。

ランダムに変動する光波動場の統計的空間構造の中に潜む力学的法則を理論的に予測し、実験的に実証した王焯氏の論文はコヒーレンス理論に新しい理解と解釈を与えた点で、その意義は大きい。一方、このような新しい知見がいったいどのように工学的に役立てられるのかはまだまったくわかっていない。その意味において、この研究はまさに緒に就いたばかりであり、王焯氏が今回の受賞を励みに研究をさらに発展させることを期待したい。

### 文 献

- 1) W. Wang, Z. Duan, S. G. Hanson, Y. Miyamoto and M. Takeda: "Experimental study of coherence vortices: Local properties of phase singularities in spatial coherence function," *Phys. Rev. Lett.*, **96** (2006) 073902-1, 073902-4.
- 2) W. Wang and M. Takeda: "Coherence current, coherence vortex, and conservation law of coherence," *Phys. Rev. Lett.*, **96** (2006) 223904-1, 223904-4.
- 3) W. Wang and M. Takeda: "Linear and angular coherence momenta in the classical second-order coherence theory of vector electromagnetic fields," *Opt. Lett.*, **31** (2006) 2520-2522.



## 田中拓男氏の論文紹介

理化学研究所 河田 聡

「光学」が古典となり人々が少し退屈を覚え始めた新世紀に、物理の教科書を塗り替える新しいサプライズがいくつも「光学」に生まれ始めた。その中でも、屈折率が負の物質や透磁率が1以外の値をもつ材料が見つかったことは、多くの光学者に刺激を与えている。「見つかった」というのは正確ではなく、「創った」というべきであろうか。自然界には存在しないが人工的にナノレベルで金属構造を組み立てることにより、このような不思議な物質が生まれる。1999年に、Rodger Walslerが「メタマテリアル」と名付けた。

田中拓男氏の平成18年度光学論文賞の受賞論文<sup>1)</sup>は、特定のメタマテリアルにおいて、光の偏波面によらずブリュースター角（光が完全に無反射となる角度）が存在し、その表面ですべての偏光が物質内に吸い込まれて透過し、反射成分がないことを示した論文である。その構造は、人工的に創られた二次元金属ナノ構造を積み重ねたメタマテリアルである。各層には波長よりも十分小さな「C」の文字を裏返しにして二重に重ねた金属構造が二次元的に配列されている。構造的複屈折材料に似ているが、プラズモニックな金属アンテナ・アレイとして透磁率も制御される。

この論文の後に、インペリアル・カレッジ・ロンドンがクロッキング（物体の周りを覆ったメタマテリアルが物体を見えなくする方法）を発表しているが、構造を異にしながらも、同じ時期に物質の存在が見えないというアイデアを、遠く離れた日本とイギリスで発表したことになる。

田中氏の受賞論文<sup>1)</sup>は、物質の透磁率が光周波数において1を超える値をもちうる（論文では $\mu=3.3$ ）ことを初めて示しており、これはすべての光学の教科書に書いてある「物質の誘電率の値は変わっても透磁率は1である」という常識を明確に否定したものである。その意味から、筆

者は田中氏の研究成果に興奮を覚えるのである。

さらに関連論文<sup>2)</sup>では、この構造の作成方法を実験的に示している。二光子三次元ナノエンジニアリングは筆者が提案した二光子光異性化、二光子フォトリフラクティブ効果、二光子光重合などが知られるが、本関連論文では二光子光還元による三次元金属ナノ立体構造が報告されている。さらにもうひとつの関連論文<sup>3)</sup>では、光領域での負透磁率を実現する構造の提案を報告している。

受賞者田中拓男氏は、1991年に大阪大学工学部応用物理学科を卒業、1996年に同大学院博士課程修了後、1996年から同大学基礎工学部電気工学科の助手を勤めた後、2003年から理化学研究所の研究者としてプラズモニクスとメタマテリアルに関する研究に従事している。また、今年度よりJST「さきがけ」プロジェクトのリーダーとしても活躍中である。

ここ数年、世界的に、プラズモニクスやメタマテリアルに関する研究が激しい競争環境に入っている。国内においても、世界を先導する研究を発表する研究が生まれて来つつあることは、大変喜ばしいことである。

### 文 献

#### 受賞論文

- 1) T. Tanaka, A. Ishikawa and S. Kawata: "Unattenuated light transmission through the interface between two materials with different indices of refraction using magnetic metamaterials," *Phys. Rev., B*, **73** (2006) 125423.

#### 関連論文

- 2) T. Tanaka, A. Ishikawa and S. Kawata: "Two-photon-induced reduction of metal ions for fabricating three-dimensional electrically conductive metallic microstructure," *Appl. Phys. Lett.*, **88** (2006) 81107.
- 3) A. Ishikawa, T. Tanaka and S. Kawata: "Negative magnetic permeability in the visible light region," *Phys. Rev. Lett.*, **95** (2005) 237401.