



第 41 回 「ドレスト光子定数」の言葉

「ドレスト光子定数とその宇宙論の新しい考え方とのかかわり」と題する英文の原著論文が出版されました^(注1)。著者は当法人の役員である佐久間弘文氏（理事）、小嶋泉氏（顧問）です。この論文を掲載する学術誌 *Symmetry* は化学、生物学、素粒子物理学、宇宙論などの領域を扱っています（光学関係は扱っていないようです）。いわゆる「対称性」、「対称性の破れ」などの事象がこの雑誌の名前につながります。化学の対称性は野依良治先生の関連分野、素粒子物理学の対称性（の破れ）は南部陽一郎先生、さらには益川敏英・小林誠先生、Glashow, Salam, Weinberg など、ノーベル賞受賞者の関連分野です。本論文で扱う Majorana 場の粒子—反粒子対の消滅が自発的な対称性の破れに相当し、この学術誌のトピックスと整合しています。

本論文ではドレスト光子研究の大きなブレークスルーが記載されていますので、専門的な内容になりますが以下で紹介しましょう。まず、本論文は次の二つの大きな意義を持っています。

(1) 30-40 年前からの私たちのドレスト光子の実験研究による代表的な研究成果：

- 1 先端がナノ寸法のファイバプローブを発明したこと
- 2 ドレスト光子には最大寸法が存在し、その値は 50~70nm であることを見出したこと
- 3 シリコン結晶を用いて、発光ダイオードやレーザーを発明したこと

のうち、2 の理由を明らかにしたこと（この理由は長年にわたり不明でした）。

(2) ドレスト光子の最大寸法をプランク定数、光速度、重力定数、宇宙定数などと同列の現代物理学の基礎物理定数の一つであると指摘したこと。

本論文の発表に先立つ実験研究から生まれた代表的な疑問として

Q1 ドレスト光子はどのようにして生成される？

Q2 ドレスト光子が最大寸法（50~70nm）をもつ理由は？

がありました。

まず Q1 に答えるには物質と光の相互作用を記述する必要があります。しかし従来の光科学では「相互作用」は扱っていないのです^(注2)。このように従来の光科学が扱っていない（あるいは見落としている）「相互作用」を扱うために、本論文では光の縦波成分、および 4 元運動量の spacelike 成分を理論に取り入れる必要があること明らかにしました。そして前者については電磁場のゲージを見直すことにより、後者については一般相対性理論を導入することによりこれらの取り扱いに成功しました。ここにたどり着くため数学、数理学、公理的量子場理論などの観点から深い洞察が行われ、その結果、従来科学 (On-shell science) の理論から脱却して新しい科学 (Off-shell science) の理論が構築されたのです。具体的には一般相対性理論、渦をもつ流体の動力学をもとに Clebsch 場理論が構築されました。この理論は相対論で重要となるポアンカレ共変性を有します。

そして Q1 の答えが次のように得られました：まず物質場の特異点（ナノ粒子）において相互作用に関わる

spacelike 運動量場が timelike 運動量場に変換され、粒子—反粒子対として timelike の Majorana 場が生成されます。次にこの対が消滅（自発的な対称性の破れ）することにより、特異点の位置に局在した量子場が生成されます。この量子場がドレスト光子なのです^(注3)。

本論文に記載されているドレスト光子研究の大きなブレークスルーは次の3つです。まず最初の2つは
(a) 前論文^(注3)の成果をさらに精査・発展させ、Clebsch 場理論と宇宙論との関わりを発見したこと
(b) 光の場が持つ共形性という数学的概念を拡大すると自己同形かつダークエネルギー（宇宙を膨張させる）と同型の宇宙論が得られることを指摘したこと
です。

ここで(b)の指摘に基づき Q2 の答えが次のように得られました：ドレスト光子の最大寸法がドレスト光子場の量子単位に相当することがその理由だったのです。さらにその最大寸法はプランク長（ミクロな世界の基礎物理定数）と宇宙寸法（これは宇宙定数の逆数：マクロな世界の基礎物理定数）との相乗平均により与えられることが示されました。この値は実験により得られた値と見事に一致しました。

そして最後の1つは
(c) ドレスト光子の最大寸法は物理現象を支配する基礎物理定数（プランク定数、光速度、重力定数、宇宙定数など）の一つとして捉えられることを見出したこと
です。これは上記のようにドレスト光子の最大寸法が基礎物理定数により表現できることから理解できます。つまりこの表現を使えば、逆にこれらの基礎物理定数がドレスト光子の最大寸法により表現できるからです。このような経緯によりドレスト光子の最大寸法は本論文の題名である「ドレスト光子定数」と呼ばれるようになりました。

上記の(a)に関連し、「ミクロな空間のドレスト光子の理論がなぜ宇宙論と関連するのか？」という質問が出るかもしれません。しかし大宇宙は希薄でガスが主な構成要素（天体のような岩石などではない）なので、その物理現象は原子物理学、素粒子などのミクロな現象と関連していることが知られています^(注4)。従ってミクロなドレスト光子が宇宙論と関連するのは決して不思議ではないのです。現にドレスト光子定数は微視世界の基礎物理定数と巨視世界の基礎物理定数の相乗平均になっており、これはドレスト光子が微視世界と巨視世界の橋渡しになっていることを意味しています。

本論文はドレスト光子が素粒子物理学や宇宙論の基礎と結びついていることを指摘し、ひいてはドレスト光子の概念の普遍性、重要性を提示しているといえましょう。

（注1） 英文名は "On the Dressed Photon Constant and Its Implication for a Novel Perspective on Cosmology" by H.Sakuma and I. Ojima, *Special Issue, "Quantum Fields and Off-shell Sciences", Symmetry*^(注3), 2021, 13, 593.

この論文は <https://www.mdpi.com/2073-8994/13/4/593/pdf> からダウンロードできます。

（注2） 光を物質に照射したとき、物質が光をどのように散乱、吸収、透過するかという、光に対する物質の「反応」は扱っていたのですが。また、「仮想光子」という概念を用いて「相互作用」を近似的に記述してはいたのですが。）

（注 3）ここまでの結果の概要は H. Sakuma, I. Ojima, M. Ohtsu, and H. Ochiai, “Off-Shell Quantum Fields to Connect Dressed Photons with Cosmology,” *Symmetry*, vol.12, no.8 (2020) 1244. DOI:10.3390/sym12081244 でも発表されています。

（注 4）Glashow, S.L., *Interaction* （Warner Books, 1988）などにも記されているように、巨視的世界の現象は微視的世界を支配する物理法則によって説明されるのです。
