

## ドレスト光子が拓く“オフシェル科学”の一分野について

## On a possible branch field in “off-shell science” to be opened up by dressed photon

ドレスト光子研究起点 ○佐久間弘文、小嶋泉、大津元一

Research Origin for Dressed Photon, ○Hirofumi Sakuma, Izumi Ojima, Motoichi Ohtsu

E-mail: sakuma@rodrep.or.jp

前回の講演会においては、講演者によりドレスト光子（以下 DP）の新たなモデルとして導入されたクレブシュ双対場の量子化を中心にした DP のモデルについての発表を行った [1,2]。自由場としての通常的光子と DP を比較する際に、決定的に異なる点は、後者が光と物質場の相互作用として生じるオフシェルの場であるという事である。素粒子論において、一般に相互作用は LSZ 法と呼ばれる散乱行列に基づく手法で記述される。その手法においては、始状態と終状態は時間的なオンシェル粒子により記述され、その状態変化は散乱行列で求められる。しかし、公理的量子場理論によれば、始状態を散乱終状態へと変換する相互作用をハイゼンベルク量子場で記述する為には、不可避的に空間的運動量の関与が必須である事が示される [3]。

クレブシュ双対場は、DP を研究対象とした電磁相互作用に具体的な形として空間的運動量場を持ち込んだ初めての例であると言える。実際、これまでの発表において、摂動計算で示される U(1) ゲージボゾンとしての（縦波成分を持つ）仮想光子は、空間的運動量を持つクレブシュ双対場で表現できる事を示した。

今回の発表においては、前回示した以下の2点に基づき、DP 研究が時空の量子化という先端のテーマと関連する可能性を指摘する。(1) スピン 1 を持つボゾン場としてのクレブシュ双対場は、スピン 1/2 を持つ運動量場が直交する一組のマヨラナフェルミオン (MF) 場で合成されている。(2) クレブシュ双対場のエネルギー・運動量テンソル  $\hat{G}_\mu^\nu$  を書き下すと、それはアインシュタイン方程式の左辺にあるリーマン曲率テンソル  $R_{\mu\nu\kappa\lambda}$  の縮約から作られるリッチテンソルと同様の形になっている。第一の点に関しては、MF 場は、空間的クラインゴルドン (KG) 方程式：

$$\partial^\nu \partial_\nu \lambda - (\kappa_0)^2 \lambda = 0, \quad (1)$$

を満たすので、平面波の解に対して、 $p_\nu := \partial_\nu \lambda$  で定義される運動量は、平面波の波数  $k_\nu$  が満たす式

$$(k_0)^2 - (k_1)^2 - (k_2)^2 - (k_3)^2 = -(\kappa_0)^2, \quad (2)$$

と同形の式を満たし、それは 4 次元ドジッター空間の 1 次元低い部分空間上のベクトルとなる。非常に興味深い事に、スナイダー [4] は運動量空間がドジッター空間になっていれば、ローレンツ共変な時空の量子化が可能である事を指摘し、現在スナイダーの発見は二重相対論として注目を浴びている。

第 2 番目の関係を具体的に書き下すと、クレブシュ双対場の強さを交代テンソル  $S_{\mu\nu}$  で表し、記号  $\hat{S}_{\mu\nu}^{\kappa\lambda} = S_{\mu\nu} S^{\kappa\lambda}$  を導入した場合、それぞれの表現は、以下となる。

$$\text{Cleb. : } \hat{G}_\mu^\nu = -\hat{S}_{\mu\sigma}^{\nu\sigma} + \hat{S}_{\alpha\beta}^{\alpha\beta} g_\mu^\nu / 2, \quad (3)$$

$$\text{Eins. : } G_\mu^\nu = -R_{\mu\sigma}^{\nu\sigma} + R_{\alpha\beta}^{\alpha\beta} g_\mu^\nu / 2. \quad (4)$$

(3) 式が、MF 場で量子化されていて、その基底状態が存在するという事は、同様な構造が (4) 式に対しても存在する可能性は高いと思われる。本発表では、スナイダーの発見を基に、この類似性についての簡単な考察を行う。

本研究は、(公財) 光科学技術研究振興財団からの助成を受けて行われました。

参考文献

- [1]2019 春季講演会 10p-W621-10
- [2]M. Ohtsu, I. Ojima, H. Sakuma, (2019) Dressed Photon as an Off-Shell Quantum Field, Progress in Optics Vol. 64
- [3]R. Jost, (1963) *The General Theory of Quantized Fields*, Amer. Math. Soc. Publ., Providence.
- [4]H. S. Snyder, (1947) Quantized Space-Time, Phys. Rev. 71, 38-41.