

ライニンググラフ上量子ウォークによるドレスト光子の記述

An expression for dressed photon by quantum walks on line graphs

横浜国立大¹, (株) リコー², ドレスト光子³, ○瀬川 悦生¹, 三宮 俊², 大津 元一³Yokohama Nat. Univ.¹, Ricoh Co., Ltd², Dressed Photon³, ○Etsuo Segawa¹, Suguru Sangu², Motoichi Ohtsu³

E-mail: segawa-etsuo-tb@ynu.ac.jp

量子ウォークは、ネットワークの各有向辺で生成される線形空間上のユニタリ作用素で、離散的に時間発展をする。そして量子デバイス上でのシミュレーターとしての応用が期待されている。この研究では、量子ウォークを用いたドレスト光子の解析への初めの第一歩としてナノ物質上のドレスト光子のエネルギー推移と量子ウォークの挙動の比較検討する。

時間発展作用素は、次のように、対称なネットワークの有向辺の集合 A に対する二つの同値関係 π_V, π_E を用いて与えられる。 $a \sim_V b \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} t(a) = t(b)$, $a \sim_E b \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} |a| = |b|$. 各 $[a]_{\pi_V} \in A/\pi_V$ に対して、1 つ $|[a]_{\pi_V}| (= a$ の次数) 次元のユニタリ行列を対応させた直和を C 、一方で各 $[b]_{\pi_E} \in B/\pi_E$ に対して、1 つ $|[b]_{\pi_E}| (= 2)$ 次元のユニタリ行列を対応させた直和を S とし、量子ウォークの時間発展作用素を $U = SC$ と記述する。

●ライニンググラフ化：ドレスト光子のもつ励起子と光子の内部状態に、ネットワークの順辺と逆辺をそれぞれ対応させるような構成法を以下で試みる。そこで、二部グラフであるネットワークをもってきて、頂点の集合を $X \sqcup Y$ に分割し、各無向辺 $e \in E$ に対して、その2つの端点は必ずどちらかが X 、他方が Y に属しているようにする。そして辺集合 E を主役にすることによって、そこに2状態 ($X \cong$ 光子, $Y \cong$ 励起子) をのせた、空間 $\ell^2(E; \mathbb{C}^2)$ を量子ウォークの全空間 $\ell^2(A)$ の同値変形とみなす。つまり、背後にあるネットワークをライニンググラフ化したものを考えることをここでは提案する (図1)。

●量子ウォークの定常状態とドレスト光子との挙動の類似性：より具体的に、量子ウォークによる類推モデルにおいて定常状態を得るために常に外部から入射されている状況をつくる。そして各辺の上に正の

値の重み (コンデンサ) をのせることで誘導される量子ウォークを導入する。この外部からの流入と流出のバランスで定常状態が得られ、この流入と流出が、あるユニタリ行列によって結ばれることが本研究で示せた。さらにまた、内部グラフに量子ウォーカーが存在する相対確率 $M := \|\psi_\infty(a)\|_{G_0}^2$ が、内部のネットワークの辺に配置されたコンデンサの総和に比例して下から抑えられる。すなわち、長時間極限で内部グラフは量子ウォーカーを纏っているというドレスト光子の挙動に類似していることがわかる。また、定常状態からコンデンサの値を引いたものは、この電気回路上の電流で書き表されることも示した。そしてドレスト光子ではプローブの先端で光するという性質があるが、量子ウォーカーはネットワークの尖っているところに集中する傾向があるという似たような挙動が数値的に見て取れる (図2)。

このようにして、非常によく似た性質がドレスト光子と量子ウォークの間にはあることが示唆されているので、今後はさらにこのような状況的証拠を収集するとともに、その厳密な証明を行う。

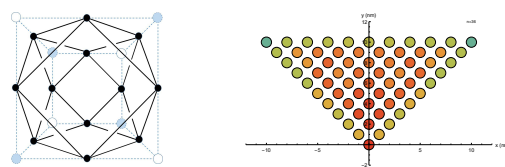


図1: ライニンググラフ化：立方 図2: QW の定常状態：二等体の頂点に彩色された二色が X と 辺 三角形の底辺から自由量子ウォーク Y に対応しており、量子ウォークの X を流入させ続け、その底辺と一番全空間では、そのライニンググラフの全 下の頂点から流出させたときの量子ウォークの定常状態。色が濃い赤に近された $\mathbb{C}^2$ 空間が置かれる。 いほど相対確率が高い。