

ドレスト光子・複雑ネットワーク・知性の創出

松岡 雷士 (広島工業大学)

ネットワーク上の量子ウォークをトイモデルとして活用することで、ドレスト光子の諸性質が部分的・定性的ながらもモデル上で再現・解釈され始めた。ベースとなるモデルを改良していくことにより、再現可能な性質は少しずつ増えている。现阶段では量子ウォークモデルとドレスト光子の物理との対応関係の理論構築は未だ断片的であり、直観と経験に基づく部分が大きい。しかしながら量子ウォークの数理を研究することによって得られる非直観的事実が、ドレスト光子への対応を考えるとなぜか直観的に符合してしまう。このある意味で不思議な体験を積み重ねるに従って、量子ウォークモデルとドレスト光子の間の本質的な対応関係の存在は期待から確信に変わりつつある。

量子ウォークとドレスト光子の対応関係についてはこの文章を書いているまさに今もメールが飛び交い、実験物理・理論物理・数理物理・数学の様々な側面からの議論が続いている。ここではトイモデルと物理的現象の対応については一旦脇に置いておき、トイモデル自体の概念拡張に関する過程をエピソード紹介の形式で書いてみることにする。

ドレスト光子には媒質となるマテリアルの構造を自律的に最適化する機能がある。ドレスト光子を生成させながらマテリアルに熱などのエネルギーを与えた場合、ドレスト光子が生成しやすい構造が自律的に創出される。この機能は Si-LED や太陽電池の効率向上に役立っており、Si-LED においては照射光の波長や偏光が保存・再生成されるという状況に基づいてフォトンブリーディングと呼ばれている[1]。このフォトンブリーディングを量子ウォークモデルの文脈で考えることは可能だろうか？

ここで「量子ウォークモデルはドレスト光子現象を記述するための射たトイモデルである」という仮説を肯定した上で話を進めてみる。量子ウォークのウォーカーは何かドレスト光子に対応する物理量を持つ塊であろう。とすればウォーカーが走っているネットワークは何かマテリアルに対応する性質をその構造として保持するものであるはずだ。ネットワークが持っている情報は主にノード同士を結合するエッジとその重みのみである。ここまで単純化して考えると、フォトンブリーディングはウォーカーがネットワークを走り回りながら、ネットワークの結合を切ったりつないだりしながら自分の都合のいいようにつなぎかえていく現象なのではないかというイメージが思い浮かぶ。文章にしてみると随分といい加減で自分でも笑えてくるが、このような仮説を次々に議論できるのがトイモデルの利点である。

ネットワークのつなぎかえについては著者に思い当たるところがあった。著者は大学4年の前期に取り組んだプレ卒論において、複雑ネットワークの一種であるスモールワールドネットワークについて研究を行っていたのだ。スモールワールドネットワークは規則正しいレギュラーネットワークの一部をランダムにつなぎかえることで生成できる[2]。ランダムなつなぎかえによってネットワーク間の平均経路長は急速に短縮される。一方で隣接ノード同士が結合され

ている度合を示すクラスター係数はそれほど減少しない。この短い平均経路長と大きなクラスター係数を併せ持つ性質が、現実世界の社会的なネットワークに整合する側面がある。著者は学科内に存在する社会ネットワークをスモールワールドの観点で解析する研究に挑戦したが、元データの収集には大変苦労した。しかしこのときの苦労が無ければ、量子ウォークにおけるネットワークつなぎかえの発想は得られなかったかも知れない。(このとき協力してくれた先輩諸氏にも深く感謝したい。)

その後フォトンブリーディングのモデル化は、複雑ネットワークのもう一つの花形であるスケールフリーネットワークをベースとして進めている。「つなぎかえ」というイメージをもう一段膨らませ、BAモデル[3]によるネットワーク生成過程を定常的な量子ウォークに整合させる形で拡張した。この部分は学術論文に書くべき内容であるため、説明はこのくらいにしておく。

量子ウォークのウォーカーがネットワークを自己修正・自己拡張していくモデルは概念として新しいものであると考えている。しかしながら量子ウォークを離れてもう少し広い範囲で考えてみると、ウォーカーに相当する何かネットワークを最適化していくモデルは他にもいくつかあることに気付く。著者に思い浮かんだモデルはニューラルネットワークと粘菌コンピューティングであった。この二つのモデルはどちらも

- (1) 局所的なルールに基づいてネットワーク上で情報のやり取りが行われ
- (2) それに伴ってネットワークが変化する

という共通のコンセプトを持っている。(1)のコンセプトはネットワーク上の量子ウォークが元々持っていた性質であり、著者のこれまでの研究はそれに(2)のコンセプトを付与したことに相当する。偶然なのか必然なのかはわからないが、ニューラルネットワークと粘菌コンピューティングには

- (3) 結果として「知性」、少なくともそれを模倣する現象が創出されている

という共通の性質がある。今後、量子ウォークがネットワーク変化を誘発することで、やはり知性と呼ぶべき何か創出されるのであろうか？もしくはドレスト光子によるフォトンブリーディングは既に何らかの知性創出の結果なのか？ドレスト光子現象はアナログコンピューティングに利用できる？概念モデルを形成することでこのようにアナロジーが見つかり、新しい研究の方向性が垣間見えることもある。

粘菌コンピューティングについて調査するためにウェブ検索をしていたところ、大津理事長が参画した粘菌コンピューティングの研究に関する紹介記事がヒットした[4]。なんと大津理事長は量子ウォークと出会うずっと前に既に粘菌コンピューティングに目をつけていた。ともかく、量子ウォークモデルをネットワーク形成に関連付けた概念拡張は何かしら有益であったということを自己確認しつつ、今後も研究を進める所存である。

- [1] M. Katori and H. Kobayashi, “Nonequilibrium Statistical Mechanical Models for Photon Breeding Process Assisted by Dressed-Photon-Phonons” in Prog. Nanophotonics, 4, ed. T. Yatsui (Springer, Heidelberg), pp.19–55, 2017.
- [2] D. J. Watts and S. H. Strogatz, “Collective dynamics of 'small-world' networks”. Nature. Vol. 393 pp. 440–442, 1998.
- [3] A. -L. Barabasi and R. Albert, “Emergence of Scaling in Random Networks” Science, Vol. 286, pp. 509–512, 1999.
- [4] 「理研など、粘菌の行動原理に基づく新概念のコンピュータを開発」
(<https://news.mynavi.jp/article/20130812-a140/>)