

ナノスケール情報伝達

(豊橋技科大) ○関野 秀男

Propagation of Quantum Information in Nano Scale

(Toyohashi Univ of Tech) Hideo Sekino

【序論】粒子が実空間あるいは位相空間上の存在確率として表現され、その時間発展が隣接ノードへのランダムな移流・拡散として定義されるとき、その長波長限界で古典的移流・拡散方程式が導出される。電子や光子などの量子では、スピンやキラリティのような内部自由度を導入し、その時間発展を内部自由度依存移流・拡散とするととき、

$$U = \exp(i\theta(\sigma_x \cos \phi + \sigma_y \sin \phi) - ib) = \begin{pmatrix} \cos \theta & i \sin \theta e^{-i\phi} \\ i \sin \theta e^{i\phi} & \cos \theta \end{pmatrix} e^{-ib}$$

その長波長限界でシュレーディンガー方程式やディラック方程式のような基礎量子方程式が導出される[1,2]。例えば Hadamard Walk (HW)

$$i \frac{\partial \Psi^{(\pm)}}{\partial t} = H \Psi^{(\pm)} \approx \left((b - \frac{\pi}{2}) \pm \left(\frac{\pi}{2} - \theta - \frac{1}{2} \tan \theta \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \right) \Psi^{(\pm)} \text{ (for } \phi = 0 \text{)}$$

や Time Dependent Schrodinger Walk (TDSW)

$$i \frac{\partial \Psi^{(\pm)}}{\partial t} = H \Psi^{(\pm)} \approx \left((b - \frac{\pi}{2}) \pm \left(\frac{\pi}{2} - \theta - \frac{1}{2} \tan \theta \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) \right) \Psi^{(\pm)} \text{ (for } \phi = 0 \text{)}$$

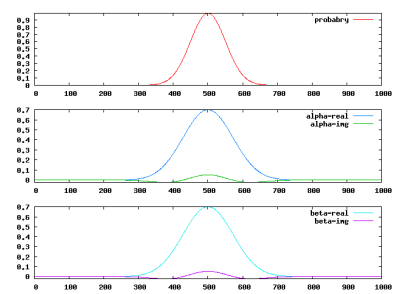
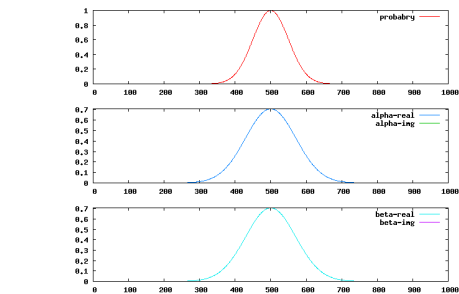
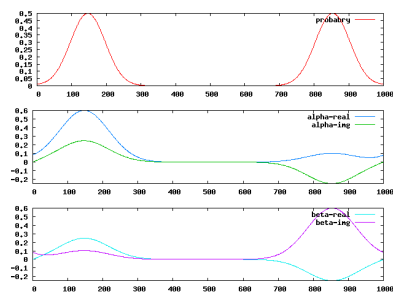
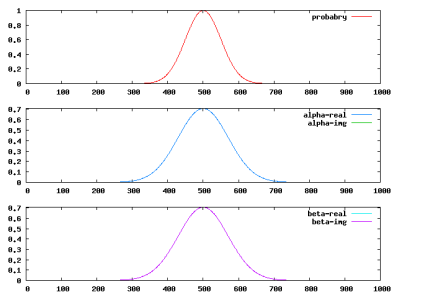


図 1.a 初期確率分布 (上図が HW, 下図 TDSW)

図 1b 時間発展後の確立分布 (上図が HW, 下図 TDSW)

図1に初期確率分布(1a)に幅(ガウシアン分布)をもたせたアダマルウォーク(HW)とシュレーディンガーウォーク(TDSW)による時間発展後(1b)の確率分布を示す。上からtotal 確率分布, left-, right chirality の確率強度分布である。実空間拡散であるHWでは分布が左右に分離するが、純虚数拡散であるSWでは確率強度の虚数部分の時間発展が遅く、total 確率も分離せず拡散し自由粒子のシュレーディンガー方程式解と一致する。

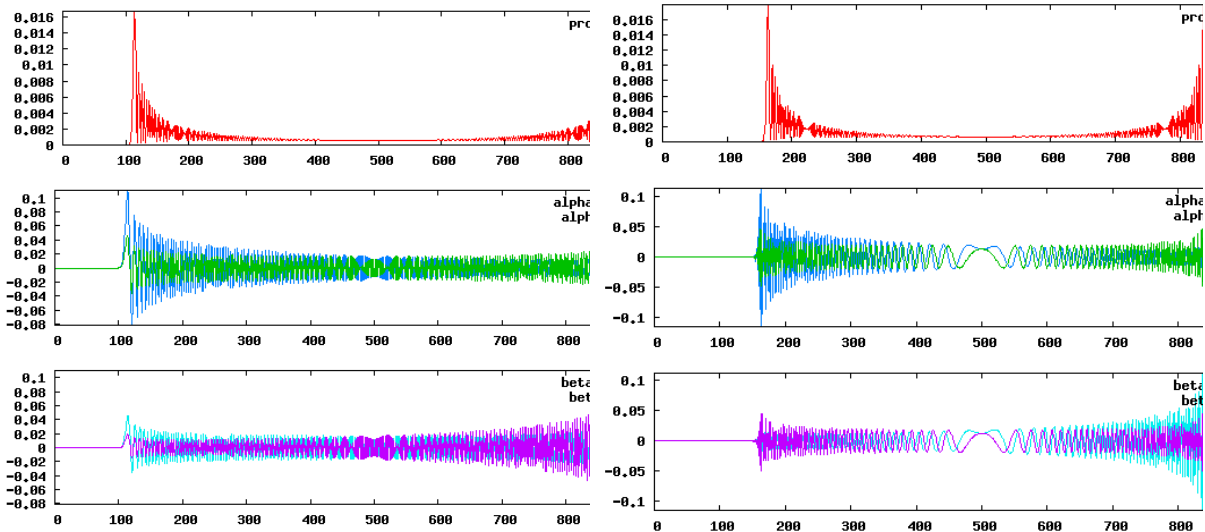


図2 デルタ関を初期値にした確率分布時間発展(HW)

図3 デルタ関を初期値にした確率分布時間発展(TDSW)

図2、図3に初期分布の幅が狭い(デルタ関数)場合の確率分布の時間発展を示す。HW, TDSWともに量子ウォーク特有の振動する確率分布の時間発展が得られ、情報伝達も古典ランダムウォークより速いことが分かる。これらのことから、キラリティーのような内部自由度依存の拡散が真に非古典的振る舞いをするためには、情報の空間的閉じ込めが必要であることが分かる。ナノスケール空間での情報の閉じ込めの問題と外部からの情報擾乱の影響についての議論は発表時に行う。

【参考文献】

[1] 9. “A Solution of Time Dependent Schrödinger Equation by Quantum Walk”, Hideo Sekino, Masayuki Kawahata and Shinji Hamada, J. Phys. Conf. Ser., 352, 012013, 1-7 (2012)

[2] “Solution of the Time Dependent Schrödinger Equation and the Advection Equation via Quantum Walk with Variable Parameters”, Shinji Hamada, Masayuki Kawahata, Hideo Sekino, J. Quantum Info. Science, 3 (No. 3), 107-119 (2013)