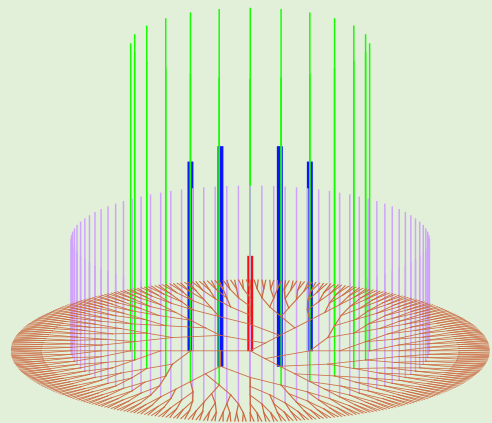
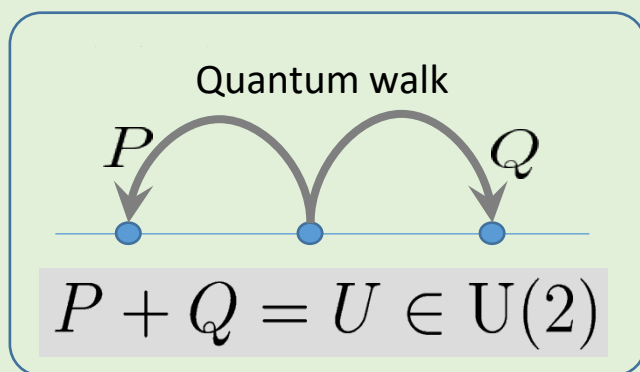
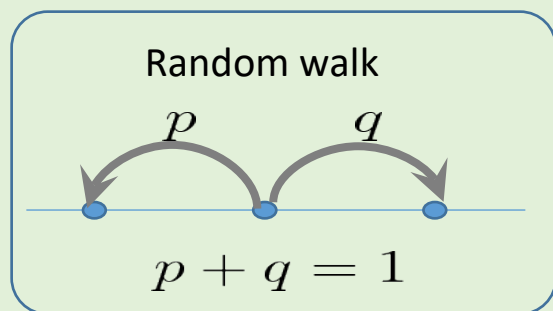
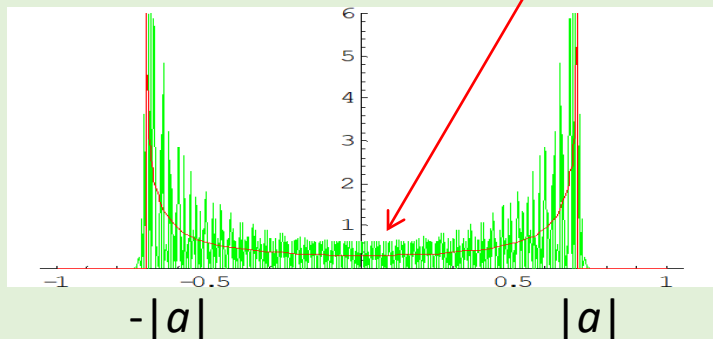


# 量子ウォーク

- 数理構造の解明とその応用 -



$$f(x) = \frac{\sqrt{1 - |a|^2}}{\pi(1 - x^2)\sqrt{|a|^2 - x^2}}$$



横浜国立大学 大学院 工学研究院

教授

今野紀雄

# ランダムウォークから量子ウォークへ

熱の拡散や株価の変動などのランダムなプロセスを経る現象を説明するときに用いられる、ランダムウォークという数理モデルがあります。ランダムウォークは、拡散現象、ノイズを含む問題など、様々な分野での現象を記述し解析するために非常に重要な役割を担っています。ランダムウォークの量子版として、2000年頃より量子コンピュータ周辺の分野から、量子ウォークという新しい数理モデルが登場しました。私は、量子ウォークの数学的な構造の解明とその応用について研究をしています。

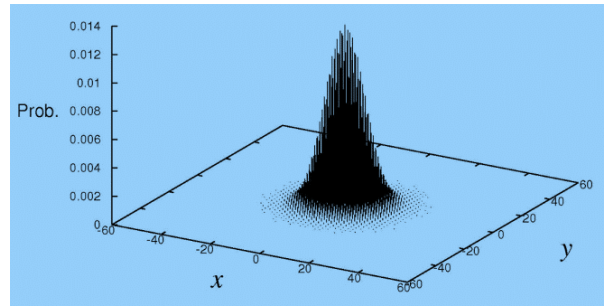


図1：2次元のランダムウォークの分布。出発点の確率が高く、富士山のような形をしています。

## 量子ウォークの性質

ランダムウォークの分布を図1に、量子ウォークの分布を図2と図3に示しましたが、全く違った形になります。その理由は、量子ウォークはランダムウォークに比べて拡散しやすい「量子拡散」の性質を持つと同時に、モデルによっては（ランダムウォークでは見られないような）出発点に留まる「局在化」の性質も持つからです。

量子ウォークは、このようなランダムウォークとは非常に異なる性質を持つこともあって、量子系において色々な現象を記述し解析するための重要な役割を担うモデルになりえることが期待されています。例えば、放射性廃棄物低減への応用があります。具体的には、量子ウォークの量子拡散と局在化を用いて、放射性セシウムの有害なものと無害なものを（一方を局在化させ、他方を拡散させることで）分離するモデルが提案されています。これは数学だけでなく、物理学、化学、工学など様々な分野を取り込んだ学際的、しかも国家的プロジェクトとなるべきだと、私は考えています。

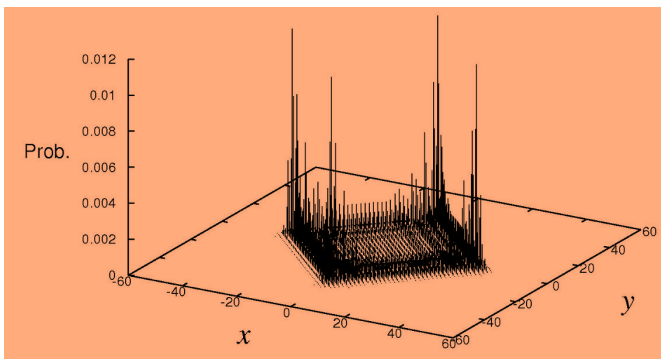


図2：2次元のアダマール量子ウォークの分布。ランダムウォークよりも拡散しやすい性質を示します。

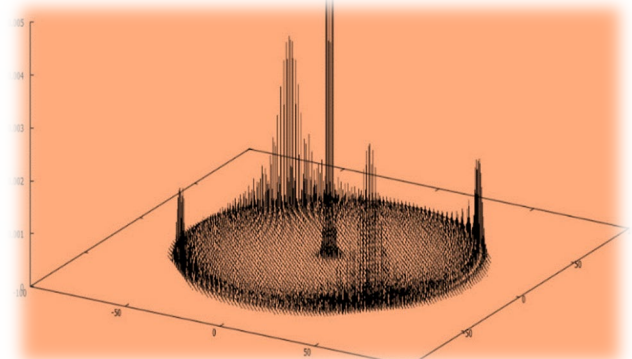


図3：2次元のグローバル量子ウォークの分布。このモデルでは、拡散しやすい性質と同時に局在化の性質も持ちます。

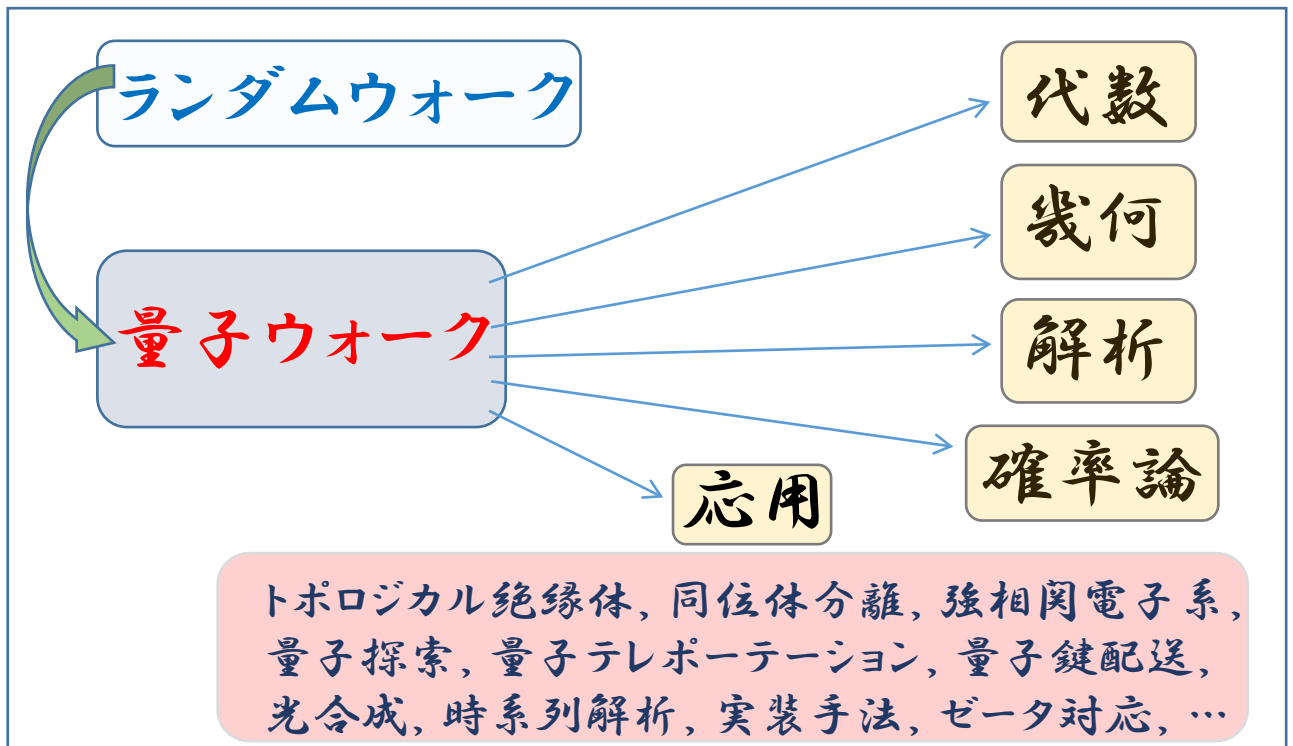


図4：量子ウォーク研究の様々な側面（特に応用面の具体的事例の紹介）

## 量子ウォーク研究の未来へ

近年の革新技术の一つとして、量子コンピュータがあります。古典コンピュータでは出来ないことも、量子コンピュータを用いれば実現可能な時代が近づいてきたことを予感させるような、実験結果も報告されているのです。量子ウォークも量子コンピュータの発展に一役買っています。

先にご紹介したように、私の研究グループは、量子ウォークの数学的な構造の解明とその応用について、研究を行っています。コンピュータに向かってプログラミングすることもあります。尚、最先端技術の研究であっても「紙と鉛筆」を手元に置いてよく計算をしています。尚、量子ウォークの最近の動向について知りたい方は、代数・幾何・解析・確率論・応用の各側面から21名の執筆者によって書かれた本「今野紀雄, 井手勇介（共編著）『量子ウォークの新展開』（培風館）があります。少し専門的で恐縮ですが、この場を借りて紹介させていただきます。

この研究に取り組んでいるのは

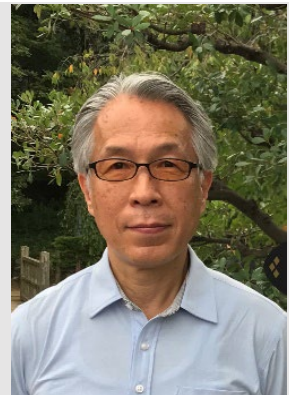
### 今野 紀雄 (こんの のりお)

横浜国立大学 理工学部/大学院 工学研究院 教授

東京工業大学 理工学研究科 博士課程 単位取得満期退学。博士（理学）。

室蘭工業大学 数理科学共通講座 助教授、コーネル大学 数理科学研究所

客員研究員を経て現職。数理芸術の企画展も横浜元町で行う。



## 本棚 参考図書のご紹介

### 高校生向け書籍

『図で解る 量子ウォーク入門』 町田拓也 (著), 森北出版

『驚異の量子コンピュータ: 宇宙最強マシンへの挑戦』 藤井啓祐 (著), 岩波書店

### より詳しく知りたい人は (専門向け)

『量子探索 - 量子ウォークが拓く最先端アルゴリズム』 今野紀雄 (著), 近代科学社

『量子ウォークによる時系列解析』 今野紀雄 (著), 日本評論社

『量子ウォークの新展開』 今野紀雄, 井手勇介 (共編著), 培風館

『量子ウォーク - 基礎と数理』 町田拓也 (著), 裳華房

『量子ウォーク』 今野紀雄 (著), 森北出版

『量子ウォークの数理』 今野紀雄 (著), 産業図書

### 最近の論文 (量子ウォーク (quantum walk) とその関連研究です)

[1] T. Komatsu, N. Konno\*, I. Sato, CTM/Zeta Correspondence, Quantum Stud.: Math. Found. Vol.9, pp.165-173 (2022)

[2] T. Komatsu, N. Konno\*, I. Sato, IPS/Zeta Correspondence, Quantum Inf. Comput. Vol.22, pp. 251-269 (2022)

[3] T. Komatsu, N. Konno\*, I. Sato, Grover/Zeta Correspondence based on the Konno-Sato theorem, Quantum Inf. Process. Vol.20, 268 (2021)

[4] S. Endo, T. Endo, T. Komatsu, N. Konno\*, Eigenvalues of two-state quantum walks induced by the Hadamard walk, Entropy, Vol.22, 127 (2020)

[5] N. Konno, A new time-series model based on quantum walk, Quantum Stud.: Math. Found. Vol.6, pp.61-72 (2019)