

Density matrix basics

密度行列の基礎

2026/05/13

永野 花歩



永野 花歩

Kaho Nagano

所属：IBMコンサルティング事業本部 金融サービス事業部

職種：コンサルタント

Contact:

E-mail: Kaho.Nagano@ibm.com

IBM Slack: [@kaho.nagano](#)

【経歴】

- 2021年 修士課程修了（理工学研究科 物理専攻/研究分野は物性理論）
第一原理計算を用いた磁性体材料の性質調査
- 2021年 日本アイ・ビー・エム 入社 (コンサルタント職)
- 2021年-現在
金融のお客様を中心とし、新規ビジネスPoC支援や規制対応に伴うシステム改修支援案件に参画

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の成分の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

[Overview | IBM Quantum Learning](#)

IBM Quantum Platform


Search [Sign in](#)

Learning Courses Modules

Foundations of quantum computing

Course series

Quantum Information & Computation
with John Watrous



Course 1

Basics of Quantum Information

Learn about quantum information, from states and measurements to quantum circuits and entanglement.

15 hours

Course 2

Fundamentals of Quantum Algorithms

Learn how quantum algorithms beat classical algorithms for problems including integer factoring and search.

15 hours

Course 3

General Formulation of Quantum Information

Dive deeper into quantum information, including density matrices, channels, and general measurements.

15 hours

Course 4

Foundations of Quantum Error Correction

Learn how quantum computations can be protected against noise through quantum error correcting codes and fault tolerance.

15 hours

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

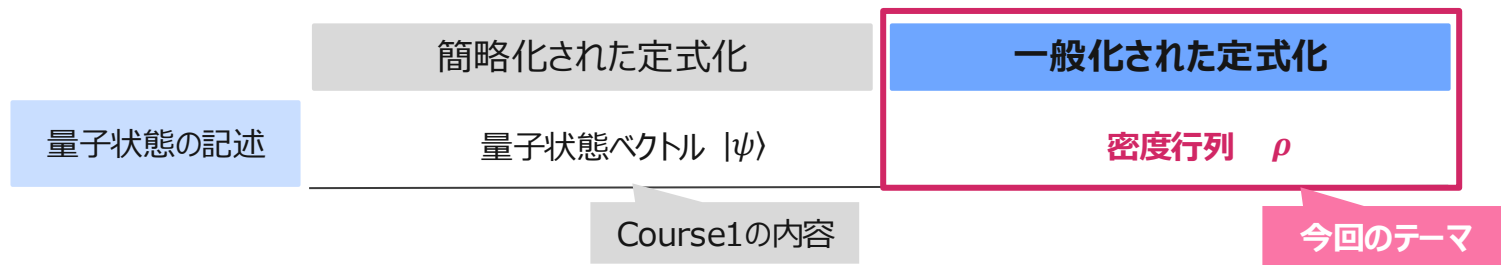
I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

Introduction

量子状態を表現するための一般的な数学的表現



密度行列を導入する主な理由

- 量子状態ベクトルよりも広い範囲の量子状態を表現可能。ノイズの影響を受けた量子系の状態や、量子状態がランダムに選ばれる場合も含む
- 無視したい他の系とエンタングルしている系の一部分の状態を記述することが可能、簡略化された量子状態の枠組みでは容易ではない
- 古典的（確率的）状態も、対角成分のみを持つ密度行列として表現が可能。これにより、古典情報と量子情報を単一の数学的枠組みで統一的に記述できる

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の成分の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

密度行列の表現と2つの条件

密度行列の表現と例

- 考える対象の系を X 、その系が取りうる古典状態集合を Σ と表す
⇒次頁で補足
- 量子状態は密度行列 ρ で表される
- ρ は複素数の成分を持つ行列で、その行と列の添字は古典的状態集合 Σ に対応づけられている

密度行列の例 :

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & \frac{i}{8} \\ -\frac{i}{8} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}, \text{ and } \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

密度行列の直感的な理解は
I-③ 密度行列の解釈 にて説明

密度行列の性質

トレースが1: $\text{Tr}(\rho) = 1$
*状態の確率の総和が1である

Key
Point

I-① 行列のトレース にて説明

半正定値であること
Positive semidefiniteness: $\rho \geq 0$

Key
Point

I-② 半正定値行列 にて説明

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

補足：系と古典的な状態の集合

系と古典的な状態集合の例

系 (X)	系が取りうる状態	古典的な状態集合 (Σ)
1ビット (古典)	0,1のどちらかの状態を取る	$\Sigma = \{0,1\}$
サイコロ	1~6のいずれかの値が出る	$\Sigma = \{1,2,3,4,5,6\}$
扇風機	切, 低, 中, 高で調節	$\Sigma = \{\text{切}, \text{低}, \text{中}, \text{高}\}$

- 考える対象の系をX、その系が取りうる古典状態を Σ と表すこととする

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

行列のトレース

トレースとは

- すべての正方行列に対して定義される関数であり、対角成分の和である
⇒密度行列において対角成分は古典状態が出現する確率であるため、確率の和が1となることを示す

$$\text{Tr} \begin{pmatrix} \alpha_{0,0} & \alpha_{0,1} & \cdots & \alpha_{0,n-1} \\ \alpha_{1,0} & \alpha_{1,1} & \cdots & \alpha_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n-1,0} & \alpha_{n-1,1} & \cdots & \alpha_{n-1,n-1} \end{pmatrix} = \alpha_{0,0} + \alpha_{1,1} + \cdots + \alpha_{n-1,n-1}$$

- トレースは線形関数、同じサイズの任意の2つの正方行列と、任意の2つの複素数に対して、次の等式が常に成り立つ。

$$\text{Tr}(\alpha A + \beta B) = \alpha \text{Tr}(A) + \beta \text{Tr}(B)$$

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

半正定値行列

半正定値の定義 $\rho \geq 0$

行列 ρ が半正定値行列であるなら、ある行列 M が存在し次を満たす

$$\rho = M^\dagger M$$

また、以下も同値な定義として存在する

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ はエルミート行列であり、かつそのすべての固有値が負ではない実数である

補足：行列がエルミートであり、すべての固有値が非負であることを確認するのは、半正定値性を検証するための計算的に簡単な方法である

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ と同じ添字を持つ任意の複素ベクトル $|\psi\rangle$ に対して

$$\langle \psi | \rho | \psi \rangle \geq 0$$

が常に成り立つ

ここで、 $\rho \geq 0$ という表記は ρ が半正定値であることを意味するのであり、 ρ の各成分がすべて負にはならないということではない点は注意

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

半正定値行列

半正定値の定義 $\rho \geq 0$

行列 ρ が半正定値行列であるなら、ある行列 M が存在し次を満たす

$$\rho = M^\dagger M$$

また、以下も同値な定義として存在する

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ はエルミート行列であり、かつそのすべての固有値が負ではない実数である

補足：行列がエルミートであり、すべての固有値が非負であることを確認するのは、半正定値性を検証するための計算的に簡単な方法である

行列がエルミート行列というのは $\rho^\dagger = \rho$ が成り立つということ

\dagger (ダガー)は①転置と②複素共役を両方行うこと

【例】

$$\rho = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & \frac{i}{8} \\ -\frac{i}{8} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

①転置

$$\rho' = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & -\frac{i}{8} \\ \frac{i}{8} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

②複素共役

$$\rho^\dagger = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & \frac{i}{8} \\ -\frac{i}{8} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$

$\rho^\dagger = \rho$ が成り立つ

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

半正定値行列

半正定値の定義 $\rho \geq 0$

行列 ρ が半正定値行列であるなら、ある行列 M が存在し次を満たす

$$\rho = M^\dagger M$$

また、以下も同値な定義として存在する

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ はエルミート行列であり、かつそのすべての固有値が負ではない実数である

補足：行列がエルミートであり、すべての固有値が非負であることを確認するのは、半正定値性を検証するための計算的に簡単な方法である

固有値の計算：行列 ρ に対して、固有値を λ 、単位行列を I とする。固有方程式より求める

$$\det(\rho - \lambda I) = 0$$

【例】

$$\rho = \begin{pmatrix} \frac{3}{4} & \frac{i}{8} \\ -\frac{i}{8} & \frac{1}{4} \end{pmatrix}$$



$$\lambda = \frac{1 \pm \sqrt{5}/4}{2}$$

$$\lambda_1 \approx 0.78$$

$$\lambda_2 \approx 0.22$$

固有値の計算

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

半正定値行列

半正定値の定義 $\rho \geq 0$

行列 ρ が半正定値行列であるなら、ある行列 M が存在し次を満たす

$$\rho = M^\dagger M$$

また、以下も同値な定義として存在する

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ はエルミート行列であり、かつそのすべての固有値が負ではない実数である

補足：行列がエルミートであり、すべての固有値が非負であることを確認するのは、半正定値性を検証するための計算的に簡単な方法である

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ と同じ添字を持つ任意の複素ベクトル $|\psi\rangle$ に対して

$$\langle \psi | \rho | \psi \rangle \geq 0$$

が常に成り立つ

ここで、 $\rho \geq 0$ という表記は ρ が半正定値であることを意味するのであり、 ρ の各成分がすべて負にはならないということではない点は注意

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

半正定値行列

半正定値の定義 $\rho \geq 0$

行列 ρ が半正定値行列であるなら、ある行列 M が存在し次を満たす

$$\rho = M^\dagger M$$

また、以下も同値な定義として存在する

- 行列 ρ が半正定値である $\Leftrightarrow \rho$ と同じ添字を持つ任意の複素ベクトル $|\psi\rangle$ に対して

$$\langle \psi | \rho | \psi \rangle \geq 0$$

が常に成り立つ

【補足説明】

$\langle \psi | \rho | \psi \rangle \geq 0$ を説明。上の定義を利用すると

$$\langle \psi | \rho | \psi \rangle = \langle \psi | M^\dagger M | \psi \rangle$$

ここで $\langle \psi | = (|\psi\rangle)^\dagger$ のため

$$\begin{aligned} \langle \psi | M^\dagger M | \psi \rangle &= (M | \psi \rangle)^\dagger (M | \psi \rangle) \\ &= |M | \psi \rangle|^2 \geq 0 \end{aligned}$$

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

I. 定義

密度行列の直接的理解

密度行列の要素と意味合い

密度行列

$$\rho = \begin{pmatrix} \alpha_{0,0} & \alpha_{0,1} & \cdots & \alpha_{0,n-1} \\ \alpha_{1,0} & \alpha_{1,1} & \cdots & \alpha_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n-1,0} & \alpha_{n-1,1} & \cdots & \alpha_{n-1,n-1} \end{pmatrix}$$

- 対角成分：標準基底で測定したときに各古典状態が出現する確率を示す（和は1）

$$\text{Tr}(\rho) = \text{Tr} \begin{pmatrix} \alpha_{0,0} & \alpha_{0,1} & \cdots & \alpha_{0,n-1} \\ \alpha_{1,0} & \alpha_{1,1} & \cdots & \alpha_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n-1,0} & \alpha_{n-1,1} & \cdots & \alpha_{n-1,n-1} \end{pmatrix} = \alpha_{0,0} + \alpha_{1,1} + \cdots + \alpha_{n-1,n-1} = \sum_i \alpha_{ii} = 1$$

- 非対角成分：行と列に対する2つの古典状態が、どの程度「量子的な重ね合わせ」に入っているか、またそれらの間の相対位相もあらわす

密度行列が量子情報の数学的構造全体を自然に導く

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の成分の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

II. 量子状態ベクトルとの関係

量子状態ベクトルとの関係

純粋状態における量子状態ベクトルと密度行列の関係を見ていく

簡略化された定式化

一般化された定式化

量子状態の記述

量子状態ベクトル $|\psi\rangle$

密度行列 ρ

ベクトル表示/行列表示

純粋状態*における、量子状態ベクトル ψ について密度行列は次のように表される

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$$

たとえば量子状態ベクトルが以下のような場合、密度行列は上式を用いてこのような表記となる

量子状態ベクトル

$$|+i\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle + \frac{i}{\sqrt{2}}|1\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

$$|-i\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}|0\rangle - \frac{i}{\sqrt{2}}|1\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$$

密度行列

$$|+i\rangle\langle+i| = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{i}{2} \\ \frac{i}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

$$|-i\rangle\langle-i| = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{i}{2} \\ -\frac{i}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$$

*純粋状態: 1つの固有値が1であり、それ以外すべての固有値が0。1つの状態ベクトルだけで完全に記述できる状態

密度行列の基礎

II. 量子状態ベクトルとの関係

量子状態ベクトルとの関係

純粋状態における量子状態ベクトルと密度行列の関係を見ていく

簡略化された定式化

一般化された定式化

量子状態の記述

量子状態ベクトル $|\psi\rangle$

密度行列 ρ

ベクトル表示/行列表示

純粋状態*における、量子状態ベクトル ψ について密度行列は次のように表される

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$$

純粋状態においては不確定性は存在せず、一つの状態ベクトル $|\psi\rangle$ で完全に記述される、ということの意味する
また、密度行列は列ベクトルと行ベクトルの積を取るため、結果は正方行列となる

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

II. 量子状態ベクトルとの関係

量子状態ベクトルとの関係 参考：状態ベクトルと密度行列の具体例

ベクトル表示/行列表示

純粋状態*における、量子状態ベクトル ψ について密度行列は次のように表される

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$$

State vector	Density matrix
$ 0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$	$ 0\rangle\langle 0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$
$ 1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$	$ 1\rangle\langle 1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$
$ +\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$	$ +\rangle\langle + = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$
$ -\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{1}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$	$ -\rangle\langle - = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$
$ +i\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$	$ +i\rangle\langle +i = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & -\frac{i}{2} \\ \frac{i}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$
$ -i\rangle = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} \\ -\frac{i}{\sqrt{2}} \end{pmatrix}$	$ -i\rangle\langle -i = \begin{pmatrix} \frac{1}{2} & \frac{i}{2} \\ -\frac{i}{2} & \frac{1}{2} \end{pmatrix}$

*純粋状態：1つの固有値が1であり、それ以外すべての固有値が0。1つの状態ベクトルだけで完全に記述できる状態

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

II. 量子状態ベクトルとの関係

密度行列の対角成分と出現確率

密度行列の対角成分

純粋状態での量子状態ベクトル $|\psi\rangle = \begin{pmatrix} \alpha_0 \\ \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_{n-1} \end{pmatrix}$ について、密度行列は

$$\begin{aligned} |\psi\rangle\langle\psi| &= \begin{pmatrix} \alpha_0\bar{\alpha}_0 & \alpha_0\bar{\alpha}_1 & \cdots & \alpha_0\bar{\alpha}_{n-1} \\ \alpha_1\bar{\alpha}_0 & \alpha_1\bar{\alpha}_1 & \cdots & \alpha_1\bar{\alpha}_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n-1}\bar{\alpha}_0 & \alpha_{n-1}\bar{\alpha}_1 & \cdots & \alpha_{n-1}\bar{\alpha}_{n-1} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} |\alpha_0|^2 & \alpha_0\bar{\alpha}_1 & \cdots & \alpha_0\bar{\alpha}_{n-1} \\ \alpha_1\bar{\alpha}_0 & |\alpha_1|^2 & \cdots & \alpha_1\bar{\alpha}_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n-1}\bar{\alpha}_0 & \alpha_{n-1}\bar{\alpha}_1 & \cdots & |\alpha_{n-1}|^2 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

確率振幅の絶対値の二乗 \Rightarrow 出現確率
(ボルン則)

となる。したがって、純粋状態では密度行列の対角成分が標準基底で測定を行ったときにそれぞれの可能な古典状態が出力される確率を表すことが確認できる

*純粋状態: 1つの固有値が1であり、それ以外すべての固有値が0。1つの状態ベクトルだけで完全に記述できる状態

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎

II. 量子状態ベクトルとの関係

密度行列と純粋状態における量子ベクトルのグローバル位相

密度行列と量子状態

- ✓ グローバル位相だけが異なる2つの量子状態ベクトルについて、得られる量子状態は同一となる
(密度行列は完全に一致する)

任意の実数 θ に対して、グローバル位相だけが異なる状態ベクトルを考える

$$|\phi\rangle = e^{i\theta} |\psi\rangle$$

グローバル位相の分だけ同じ量子状態ベクトルを無限通り書き表せてしまう

密度行列を考えると、以下等式よりグローバル位相が異なっても密度行列は同一であることが分かる

$$|\phi\rangle\langle\phi| = (e^{i\theta} |\psi\rangle)(e^{i\theta} |\psi\rangle)^\dagger = e^{i(\theta-\theta)} |\psi\rangle\langle\psi| = |\psi\rangle\langle\psi|$$

したがって、任意の測定に対して完全に同一の確率分布を得る

⇒ **密度行列が量子状態の忠実な表現 (Faithful representation) を与える**

(密度行列が量子状態の一意的な表現を与える)

*純粋状態: 1つの固有値が1であり、それ以外すべての固有値が0。1つの状態ベクトルだけで完全に記述できる状態

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の成分の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

密度行列の基礎まとめ

密度行列の性質

トレースが1: $\text{Tr}(\rho) = 1$
 *状態の確率の総和が1である

半正定値であること
 Positive semidefiniteness: $\rho \geq 0$

密度行列の要素と意味合い ⇒ 密度行列が量子情報の数学的構造全体を自然に導く

$$\rho = \begin{pmatrix} \alpha_{0,0} & \alpha_{0,1} & \cdots & \alpha_{0,n-1} \\ \alpha_{1,0} & \alpha_{1,1} & \cdots & \alpha_{1,n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n-1,0} & \alpha_{n-1,1} & \cdots & \alpha_{n-1,n-1} \end{pmatrix}$$

- 対角成分：標準基底で測定したときに各古典状態が出現する確率を示す (和は1)
- 非対角成分：行と列に対する2つの古典状態が、どの程度「量子的な重ね合わせ」に入っているか、またそれらの間の相対位相もあらわす

量子状態ベクトルと密度行列

- 純粋状態での量子状態ベクトル ψ について密度行列は次のように表される

$$\rho = |\psi\rangle\langle\psi|$$

1. Introduction

2. 密度行列の基礎

I. 定義

I-① 行列のトレース

I-② 半正定値行列

I-③ 密度行列の解釈

II. 量子状態ベクトルとの関係

3. まとめ

END