

# 量子アルゴリズム

竹内 康太 (Kota Takeuchi)  
広島大学 先進理工系科学研究科

# 授業の目標

パズルゲームを例に、量子コンピュータで用いられる「グローバーク量探索アルゴリズム」の考え方を理解する。

今回、紹介すること

- 従来の探索アルゴリズムと量子探索アルゴリズムの違い
- 量子探索アルゴリズムの仕組み

キーワード

探索問題、グローバーク量探索アルゴリズム、グローバーク演算

# こんなことは、ありませんか？

あなたは0~9 でできた4桁のパスワードを忘れてしまいました！  
パターンは全部で $10^4 = 10,000$ 通りの候補があります。1つずつ  
順番に確認するならば、最悪の場合10,000回試す必要があります。  
もっと効率的に調べることはできないのでしょうか？

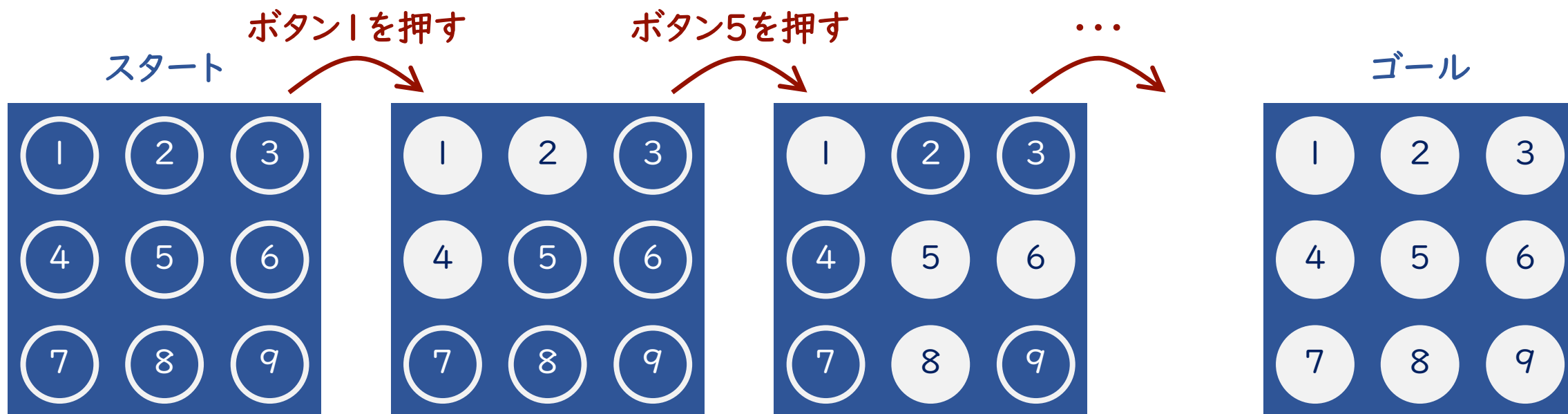


0000, 0001, 0002, ...



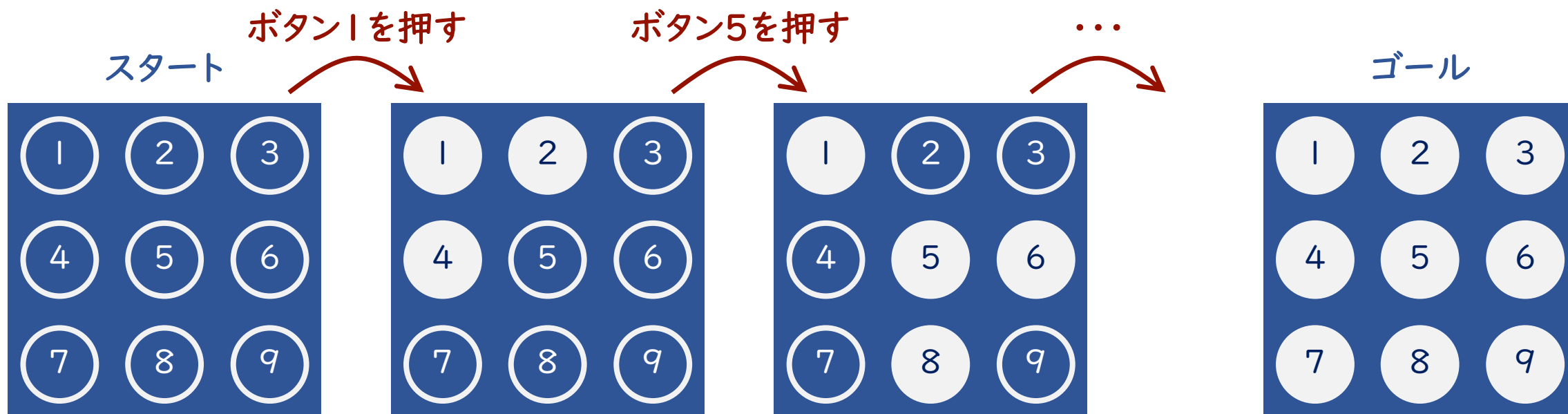
# パズルゲーム -問題設定-

- ・ 縦横3つずつ並んだ9つのボタンがある。
  - ・ 1つボタンを押すと、自身と上下左右のボタンのON・OFFが入れ替わる。
  - ・ 全てOFFの状態からスタートし、全てONになればゴールとする。
- どのようにボタンを押せばよいか？



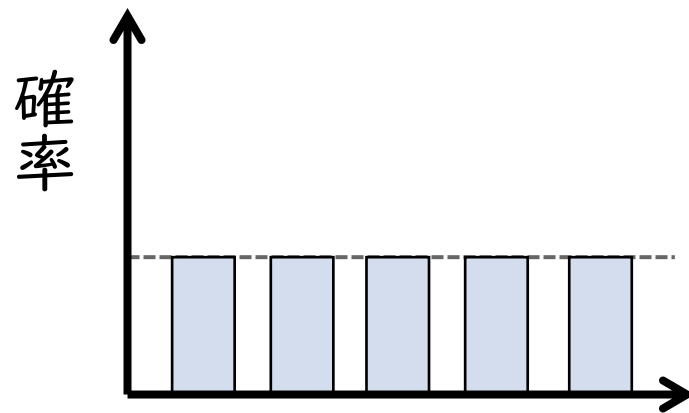
# パズルゲーム -問題の整理-

- ・ ボタンを押す順番は結果のパターンに関係しない。(例:  $1 \rightarrow 5 = 5 \rightarrow 1$ )
  - ・ 同じボタンを2回押すと元に戻る。(何回押しても意味がない。)
- 全パターン数は、**9つのボタンを押すか押さないか:  $2^9 = 512$ 通り**  
512パターンのうち答えのパターンはただ1つ。

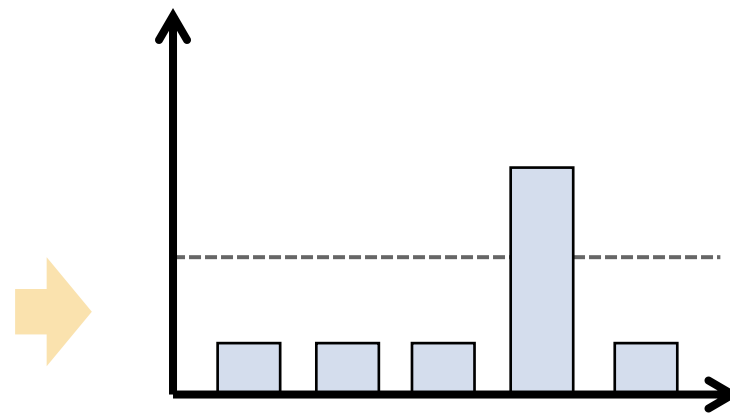


# グローバーク量量子探索アルゴリズム

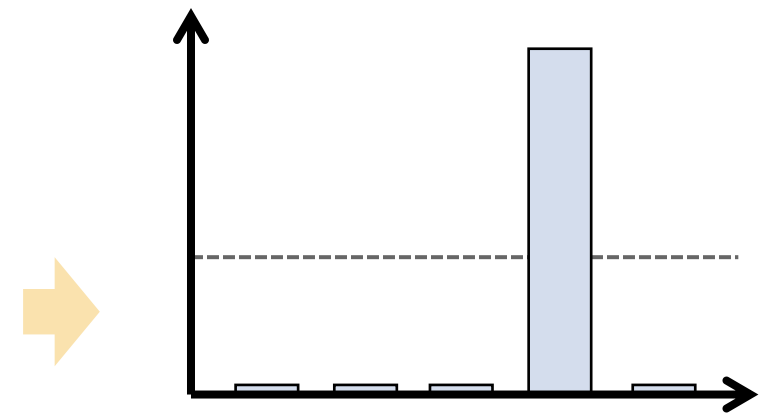
- 多数のデータから条件に合致するデータを探索するためのアルゴリズム。
- 量子ビットの重ね合わせの性質を利用して、効率的に探索を行う。
- 全探索が必要となる問題に対して、高い効果を発揮する。(N回 $\rightarrow$  $\sqrt{N}$ 回)



① 等確率の重ね合わせ状態を用意する。



② グローバーク演算で**正解データの確率を高める**。



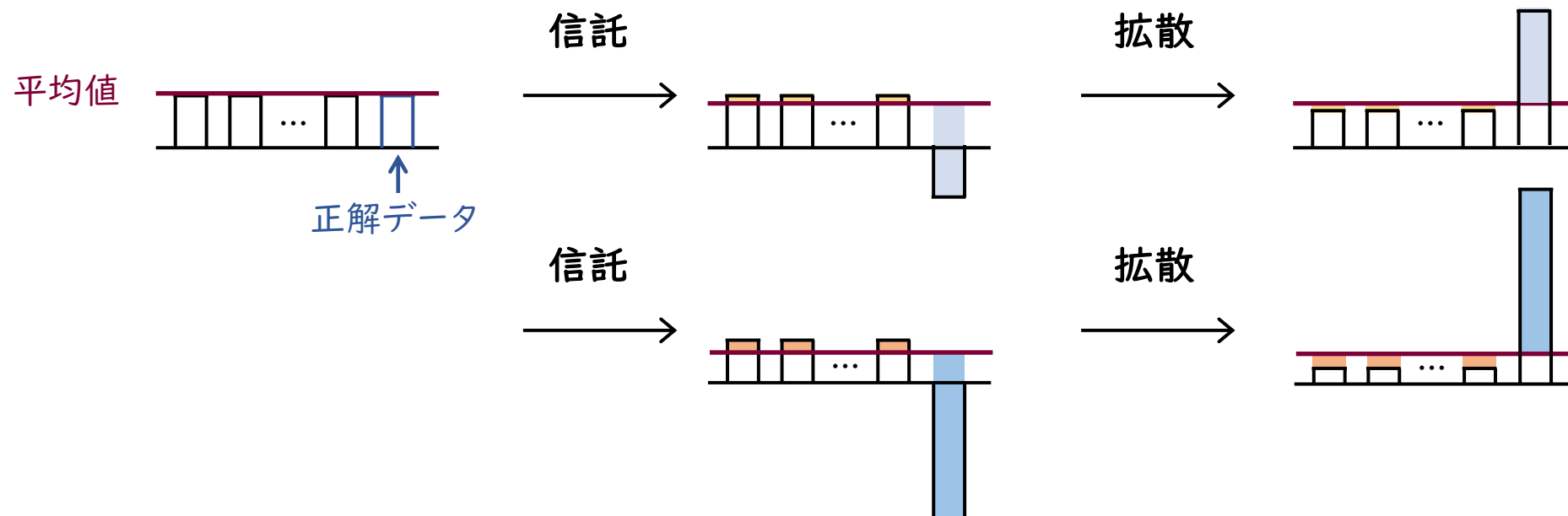
③ 繰り返した後に測定すれば高確率で正解データを得る。

# グローバール演算

※確率振幅 = その絶対値の2乗が確率に対応するような値

グローバール演算は「信託」と「拡散」という2つの操作で構成される。

- グローバール演算: 正解データの確率振幅を増幅させる演算
- 信託: 正解データの確率振幅の符号を反転させる操作
- 拡散: 全データの確率振幅を平均値に関して反転させる操作



# 例題

グローバル量子探索アルゴリズムが有効に使える問題は次のうちどれでしょうか？(複数選択)

- ① 100万枚の写真データの中から「卒業式の集合写真」を探す問題
- ② 100万件の注文データの合計金額や平均金額を計算する問題
- ③ 100万人の名簿データを五十音順に並べ替える問題
- ④ 100万件の商品データの中から該当商品を探す問題
- ⑤ 100万件の売上データから、来月の売上金額を予測する問題

# 解答例

グローバル量子探索アルゴリズムが有効に使える問題は次のうちどれでしょうか？(複数選択)

- ① 100万枚の写真データの中から「卒業式の集合写真」を探す問題
- ② 100万件の注文データの合計金額や平均金額を計算する問題
- ③ 100万人の名簿データを五十音順に並べ替える問題
- ④ 100万件の商品データの中から該当商品を探す問題
- ⑤ 100万件の売上データから、来月の売上金額を予測する問題

A. 正解は①④。他の②③⑤はデータを使った計算・整列・分析を行う問題であり、正解を探索するグローバル探索アルゴリズムには適していません。

# Q&A

グローバラー演算を何回も繰り返せば、必ず正解が得られるのですか？

いいえ。グローバラー演算を繰り返すことで、正解データの測定確率は次第に高まりますが、その確率が必ず1になるわけではありません。そのため、十分に確率が高まった段階で測定を行い、高確率で正解を得ることがグローバラー探索の目的です。

# Q&A

正解データが分からない状況でも、正解データの測定確率を高めることができるのですか？

はい、できます。グローバー探索では、正解そのものを知らなくても、「正解かどうかを判定するルール」が分かっているだけで実行できます。このルールを量子ビットの重ね合わせの性質を用いて並列的に処理することで、正解データの測定確率を徐々に高めていきます。

# パズルゲーム -グローバー-量子探索-

- ・ 9つの量子ビットを用意し、各ボタンのOFFを0に、ONを1に対応させる。
- ・ スタートは「000000000」、ゴールは「111111111」と表せる。
- ・ 512通りのデータの等確率重ね合わせ状態を用意する。
- ・ グローバー演算を繰り返すことで、ゴールに辿り着く「正解の押し方パターン」の測定確率を高めていく。



000000000



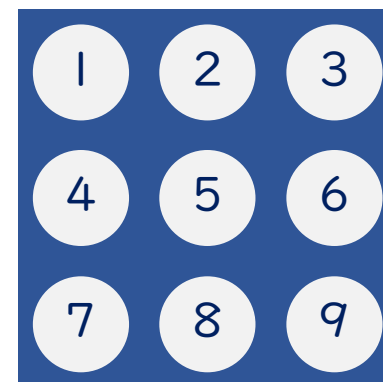
000000001



000000011



000001011



111111111

# パズルゲーム - グローバー演算の補足 -

信託（正解データの確率振幅の符号を反転させる操作）は  
「正解」を知らなくても、「総当たりを行うための手順」を知っていれば実行できる。

- ・ 1 を押せば 1, 2, 4 が反転する
- ・ 2 を押せば 1, 2, 3, 5 が反転する
- ・ ...
- ・ 9 を押せば 6, 8, 9 が反転する



信託操作ではこれらの総当たり手順が並列的に実行されることで、  
「総当たりの後にゴールに辿り着く押し方パターン」の確率振幅だけが反転される。

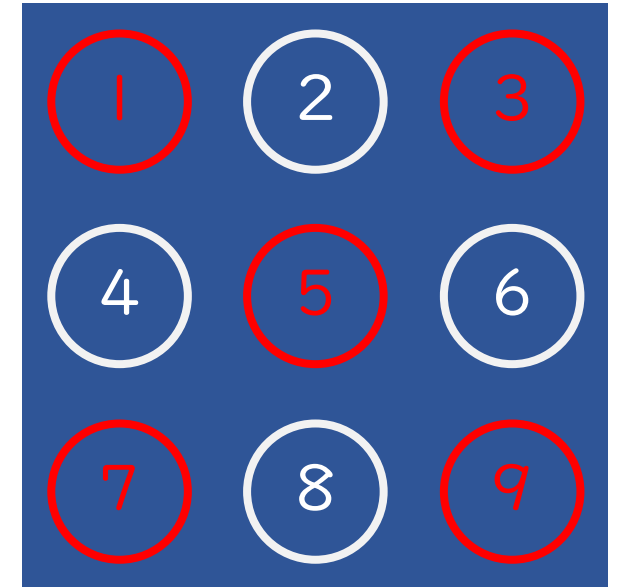
# パズルゲーム -探索結果-

Qiskit (量子アルゴリズムを作成・実行する開発キット)  
によるシミュレーション結果

```
steps = 17
```

```
most counts bit: 101010101
```

```
most counts: 999/1000
```



- 正解のボタンの押し方は「101010101」 = 「ボタン1,3,5,7,9」
- 1つずつ試す場合は512ステップ必要になるが、  
グローバル量子探索では17ステップで答えに辿り着く。
- グローバル探索の優位性は、総当たり探索を並列的に行う点にある。

# まとめ

この講義では以下を紹介しました。

- グローバー量子探索は、多数のデータの中から条件に合うデータを探すための量子アルゴリズムである。
- 量子ビットの重ね合わせを利用して、総当たり探索を並列的に処理し、効率よく調べる。
- グローバー演算を繰り返すことで、正解データの測定確率を徐々に高めていくことができる。
- その結果、従来の総当たり探索より高速に問題を解ける可能性がある。

# 課題

## 1. 次の論理パズルを解いてみましょう。

Aさん、Bさん、Cさんのうち、1人は悪魔で、残り2人は天使です。  
悪魔は必ず嘘をつき、天使は必ず本当のことを言います。  
右の証言をもとに、誰が悪魔かを当ててください。

A: 「Cは悪魔です!」  
B: 「Aは天使です!」  
C: 「Bは悪魔です!」

## 2. このパズルをグローバークラウド量子探索アルゴリズムで解く場合、 各量子ビットや正解状態をどのように対応づければいいのでしょうか?

[ヒント] ・ 用意する量子ビットは3つ。

・ A,B,Cの3人の主張が矛盾せず、かつ悪魔1人と天使2人であればよい。