

# 進化計算アルゴリズムの改良研究 ～アリコロニー最適化を例に～

情報工学 EP 模擬講義

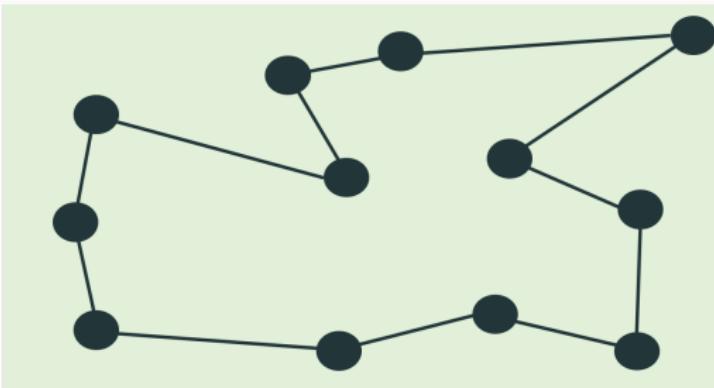
---

横浜国立大学 田邊遼司 (准教授)

# 最適化問題と巡回セールスマン問題

- **最適化問題:** ある目的関数を最適化
  - 入力: 解空間, 解の良し悪しを評価する目的関数
  - 出力: 目的関数を最小化 / 最大化する最適解
- **巡回セールスマン問題: 有名な問題の一つ**

- 販売員が  $n$  個の都市をちょうど 1 度づつ訪問し開始地点に帰る際, どの順番で訪問すれば最短距離になるか?



# 進化計算: 人工知能の一分野

- 人工知能 = { 機械学習, 自然言語処理, ..., 進化計算 }
  - 人工知能 ≠ Deep Learning
- 一部の確率的反復最適化アルゴリズムの総称
  - 昔: 生物進化・生物の振る舞いから着想を得た最適化アルゴリズムの総称
  - いつも必ず最適解を求められる保証はない
- 代表的な進化計算アルゴリズム
  - 遺伝的アルゴリズム
  - 遺伝的プログラミング
  - 進化戦略
  - アリコロニー最適化

# 本講義: 進化計算アルゴリズムの改良研究を紹介

## アリコロニー最適化アルゴリズムを例に, アルゴリズムをどのように改良できるか紹介

- 進化計算の実応用では「**低計算コストで良い解が獲得できる**」ことが求められる
  - 良い解が獲得できても, 数年かかるなら嬉しくない
  - 計算が短時間でも, 悪い解なら嬉しくない
- アルゴリズムの改良: 進化計算の研究の一つ
  - アルゴリズム: ある問題を解くための手順

# アリの行列



# 非常に大まかなアリの特性 (注意: アリに関しては素人)

## ① 視力が悪い

- 最短経路を目視で選んでいるわけではない

## ② 互いに高度なコミュニケーションは取れない

- 互いに最短経路を直接伝達しあっているわけではない

## ③ 振発性のフェロモンを排出しながら行動

- 通った道にフェロモンが撒かれる

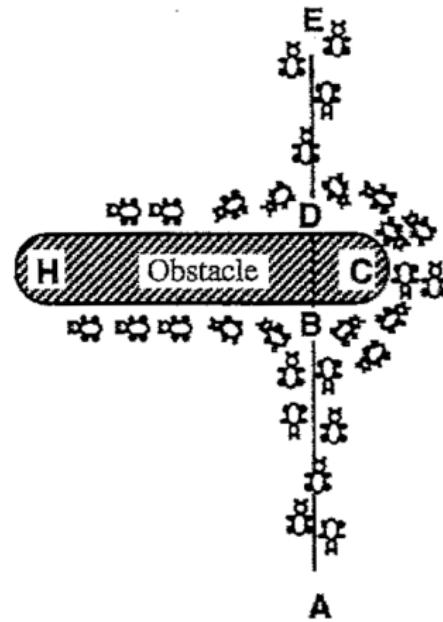
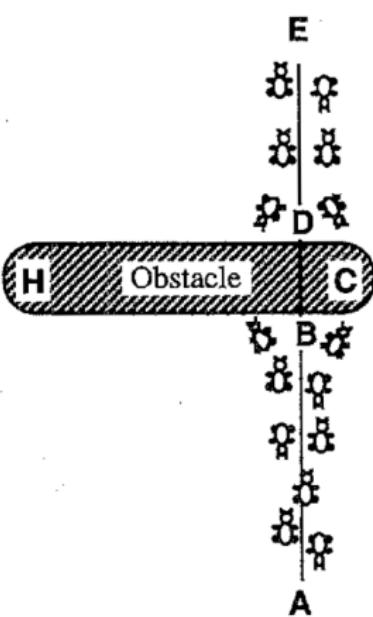
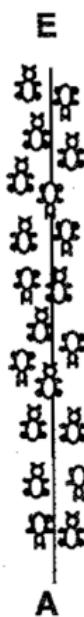
## ④ フェロモンは一定時間で蒸発する

- 恒久的に留まり続けるわけではない

## ⑤ 経路選択の際、フェロモンに誘引される

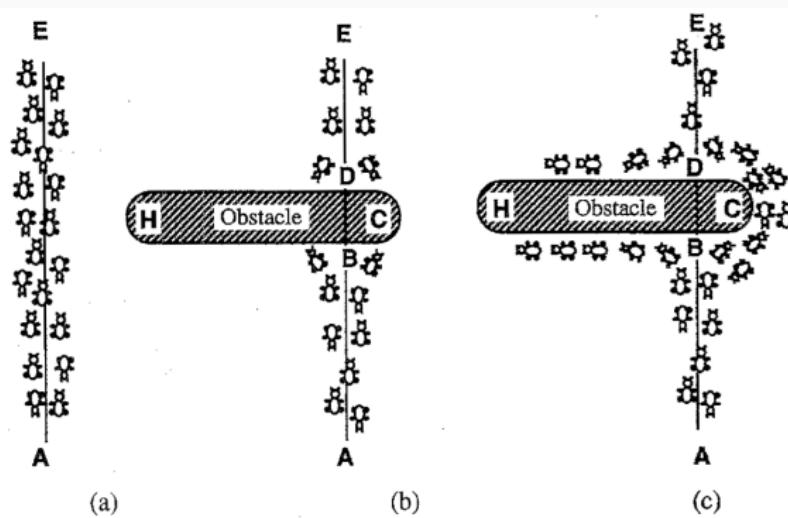
- よりフェロモンが多い経路を選択しやすい (非決定的)

# 障害物を置いた際の、アリの経路探索行動 [Dorigo 96]



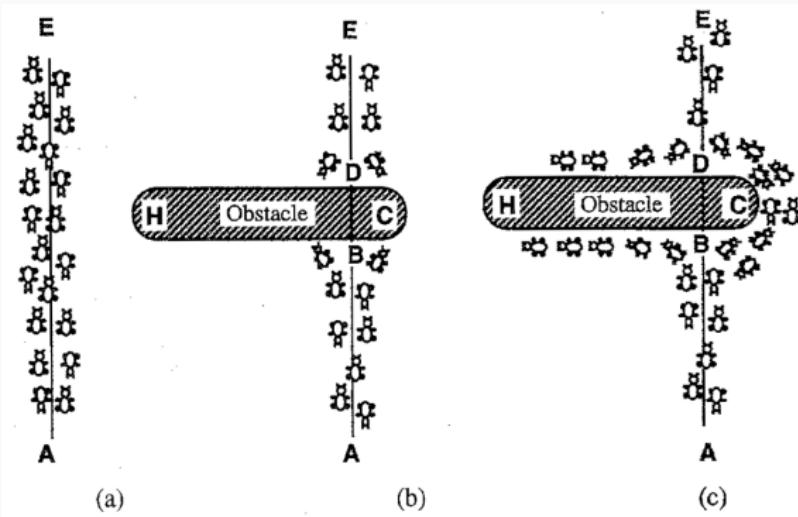
# 障害物を置いた際の、アリの経路探索行動 [Dorigo 96]

- ① 始めは、左右の経路を等確率で選択
- ② 右の経路の方が短いので、アリが通る間隔が短い
- ③ フェロモンが蒸発される前に、次々に上乗せ



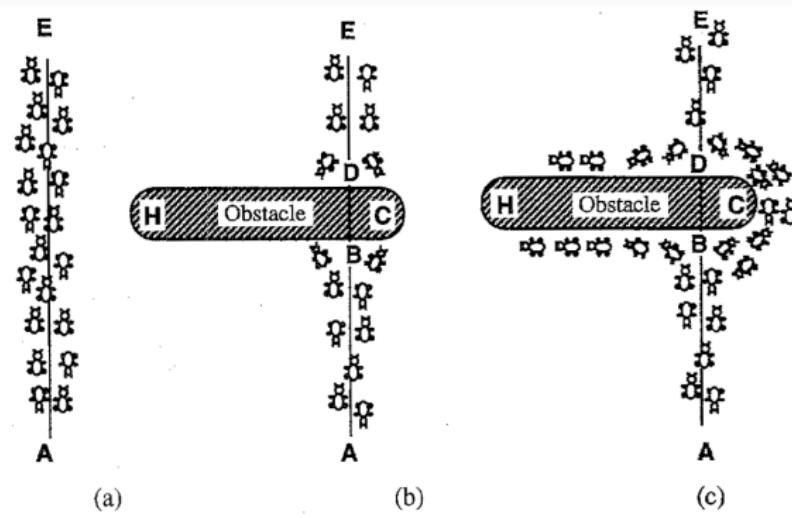
# 障害物を置いた際の、アリの経路探索行動 [Dorigo 96]

- ④ 左の経路は長いので、アリが通る間隔が長い
- ⑤ フェロモンが蒸発しやすくなる



## 障害物を置いた際の、アリの経路探索行動 [Dorigo 96]

- ⑥ 結果、右の経路の方がフェロモン濃度が高くなる
- ⑦ フェロモンに誘引され、アリは右の経路を選ぶ
- ⑧ 最終的に左の経路上のフェロモンは消える



# アリコロニー最適化 (ant colony optimization, ACO)

- アリの経路発見現象に着想を得た手法群 [Dorigo 04]

- アリ: 採餌行動にて, 短い経路で餌を運んでいる
- この経路発見メカニズムを使って, 巡回セールスマン問題の良い解を求められないか?

- オリジナル: アリの行動を比較的忠実に模倣

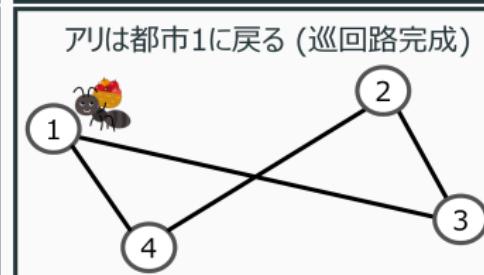
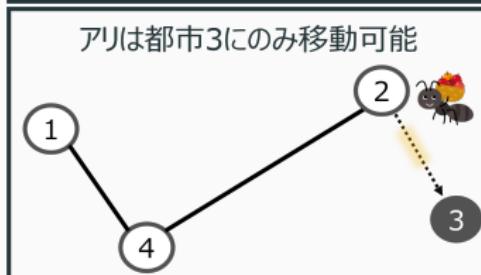
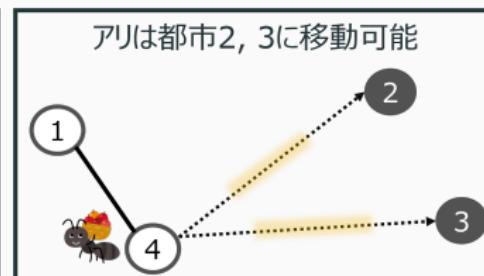
- $\mu$  個のアリを用いて  $\mu$  個の巡回路を生成
- $\mu$  個の巡回路を元にフェロモン更新
- 上記 2 ステップを終了条件を満たすまで繰り返す

- 注意

- 本物のアリは不使用 (あくまでシミュレーション)
- 性能は良くない (例えば「Concorde TSP」で検索)

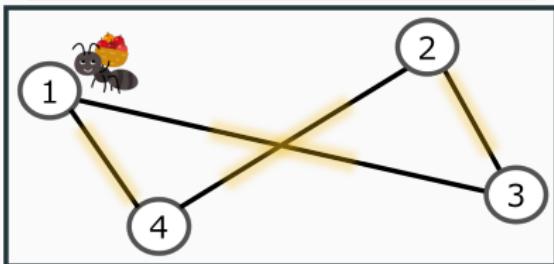
## 各アリによる巡回路の生成方法

- ① 開始都市を  $n$  都市からランダムに 1 つ選択
  - ② フェロモンに基づき未訪問都市を 1 つ選択
  - ③ 2 を繰り返し全  $n$  都市を訪問後、開始都市に戻る

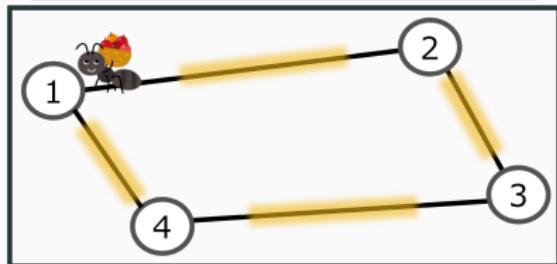


# $\mu$ 個の巡回路を元にフェロモン更新 (蒸発 → 追加)

巡回路が長い: 各経路に  
少量のフェロモンを追加



巡回路が短い: 各経路に  
大量のフェロモンを追加

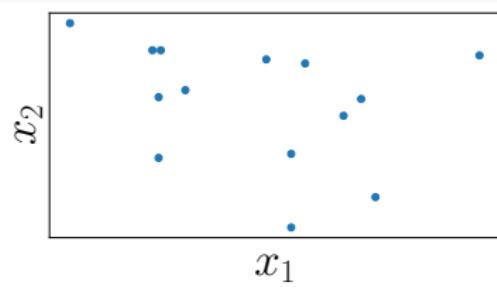


- フェロモンが増える経路
  - 多くのアリがその経路を選んでいる
  - その経路は短い巡回路に含まれている
- フェロモンが減る経路
  - 少ないアリしかその経路を選んでいない
  - その経路は長い巡回路に含まれている

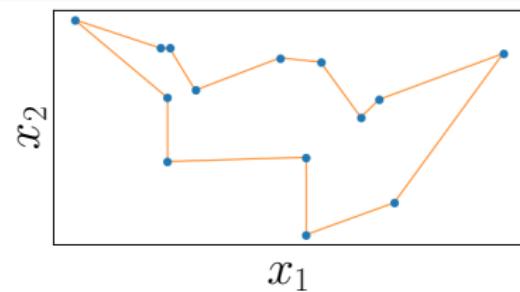
# burma14 における性能評価実験

## ビルマ(現ミャンマー)の14都市問題

14都市の配置



最適巡回路, 長さ = 3323



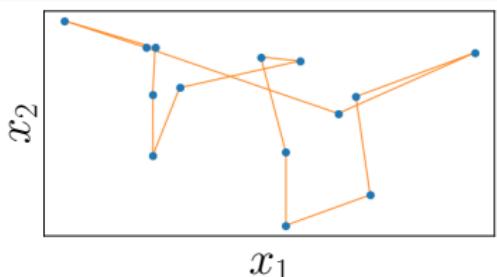
- アリコロニー最適化アルゴリズムの設定

- アリの数  $\mu = 100$ , 蒸発率  $\rho = 0.5$
- 探索打ち切り条件: 実行時間が 2 秒経過したら
- ACOTSP の C コードを使用
  - <http://www.aco-metaheuristic.org/aco-code/>

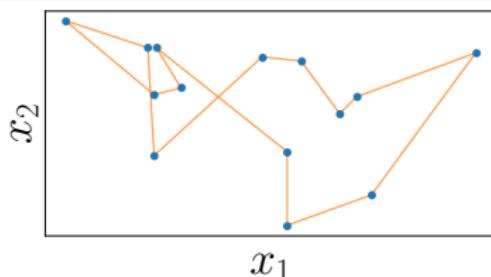
# burma14 にてオリジナルが探索中に求めた最良巡回路

最適巡回路 (長さ 3323) を求めることに失敗

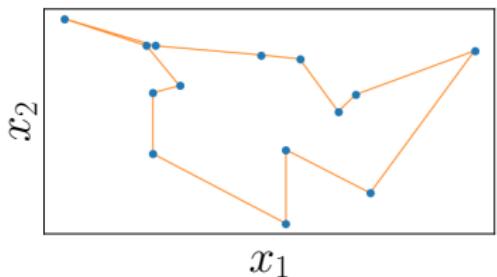
1 反復目, 長さ = 4067



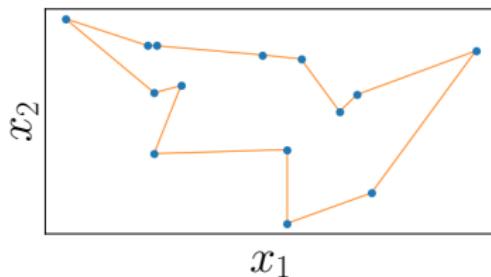
31 反復目, 長さ = 3740



2997 反復目, 長さ = 3426



13022 反復目, 長さ = 3346



# Q. なぜオリジナル版の探索は失敗したのか?

## A. 経験則を使用したため

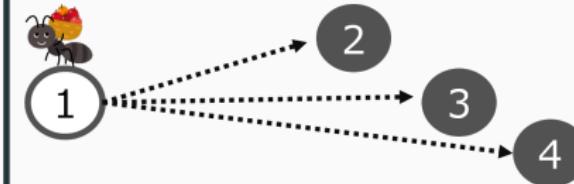
- 経験則: 「この問題はこうするとうまくいく」
- 巡回セールスパーソン問題の経験則:

- 最適巡回路は近い都市同士上の経路を含みやすい

**改良: 選択確率 = フェロモン量**

**+ 1 / 現都市からの距離**

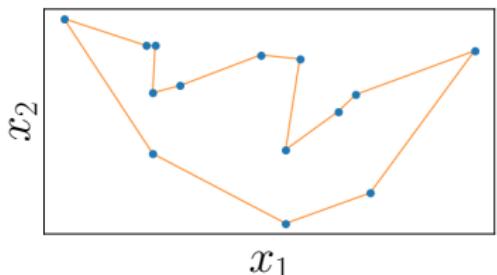
フェロモン量が同じ場合、アリは  
都市2, 3, 4の順に選びやすい



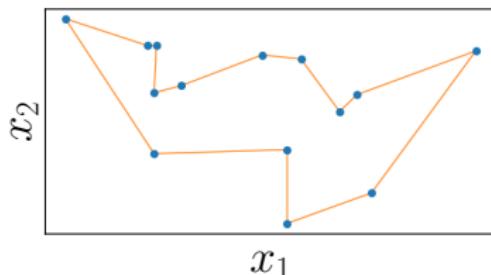
# burma14 にて改良版が探索中に求めた最良巡回路

最適巡回路 (長さ 3323) を求めることに成功

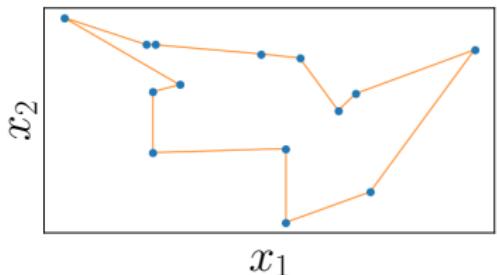
1 反復目, 長さ = 3496



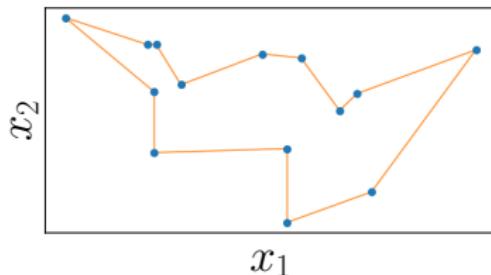
5 反復目, 長さ = 3371



12 反復目, 長さ = 3336



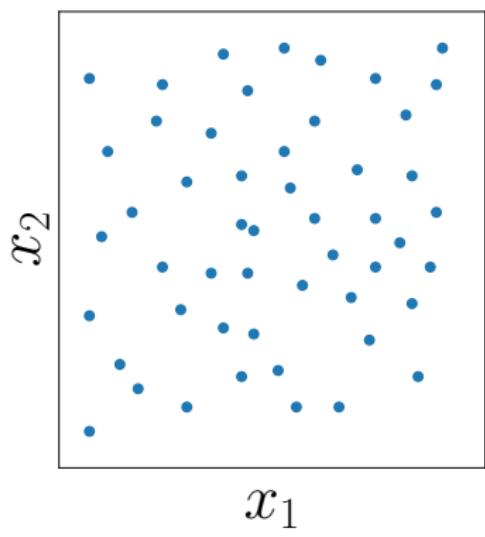
35 反復目, 長さ = 3323



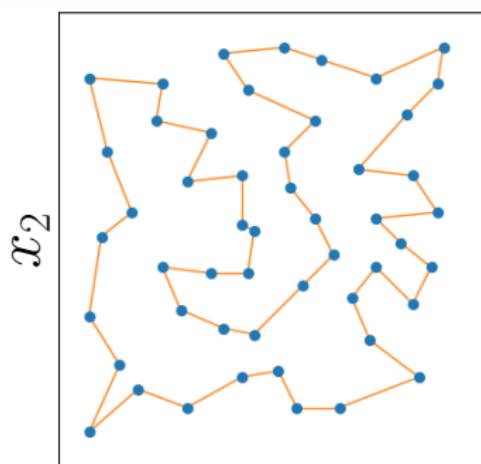
# 都市数をスケールアップした実験

eil51: 51都市から成るTSP

51都市の配置



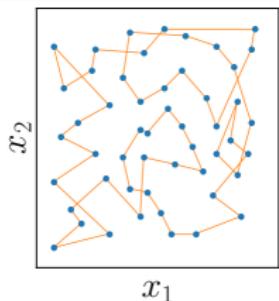
最適巡回路, 長さ = 426



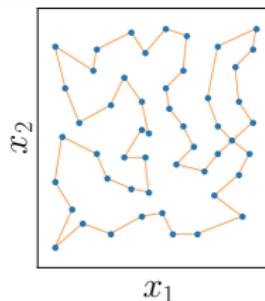
# eil51 にて改良版が探索中に求めた最良巡回路

**最適巡回路 (長さ 426) を求めるに失敗**

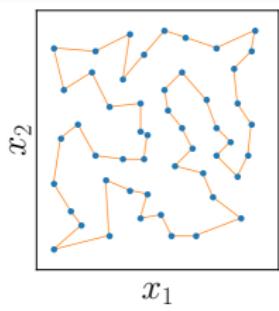
1 反復目, 長さ = 566



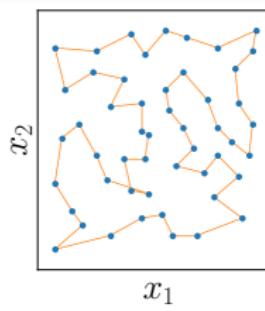
80 反復目, 長さ = 443



156 反復目, 長さ = 438



1946 反復目, 長さ = 431



## Q. なぜ改良版の探索は失敗したのか?

### A. 探索終盤では追加するフェロモン量に差がないから

各アリが追加するフェロモン量 =  $1/\text{巡回路長}$

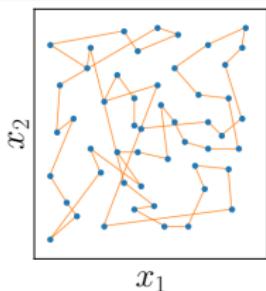
- 探索序盤: 各アリが生成する巡回路はバラつく
  - そのため,  $1/\text{巡回路長}$  もバラつく
  - 序盤の例:  $1/470 \approx 0.00212$  vs.  $1/520 \approx 0.00192$
- 探索終盤: 各アリが生成する巡回路はほぼ同じ
  - そのため,  $1/\text{巡回路長}$  もほぼ同じ
  - 終盤の例:  $1/430 \approx 0.00233$  vs.  $1/431 \approx 0.00232$
- 改良: 最良巡回路を生成したアリにボーナス

最良なアリがさらに追加するフェロモン量  
 $= 100/\text{巡回路長}$

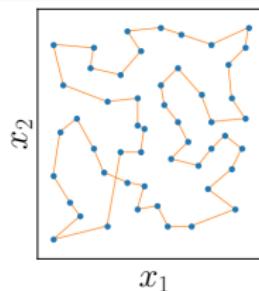
# eil51 にて改改良版が探索中に求めた最良巡回路

431 よりは良いが、最適な 426 には未到達

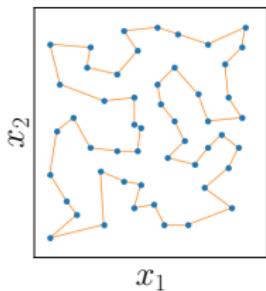
1 反復目、長さ = 656



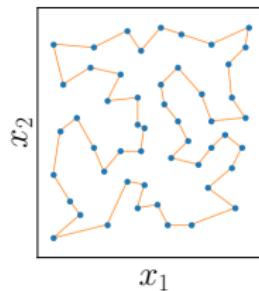
20 反復目、長さ = 437



25 反復目、長さ = 431

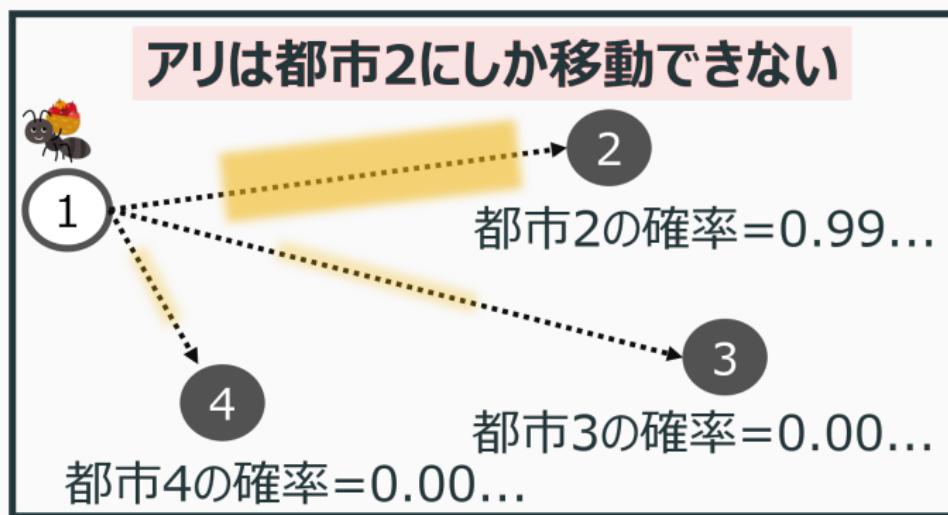


1067 反復目、長さ = 428



Q. なぜ改改良版の探索は失敗したのか?

A. フェロモンが最良巡回路の経路に偏り過ぎたため

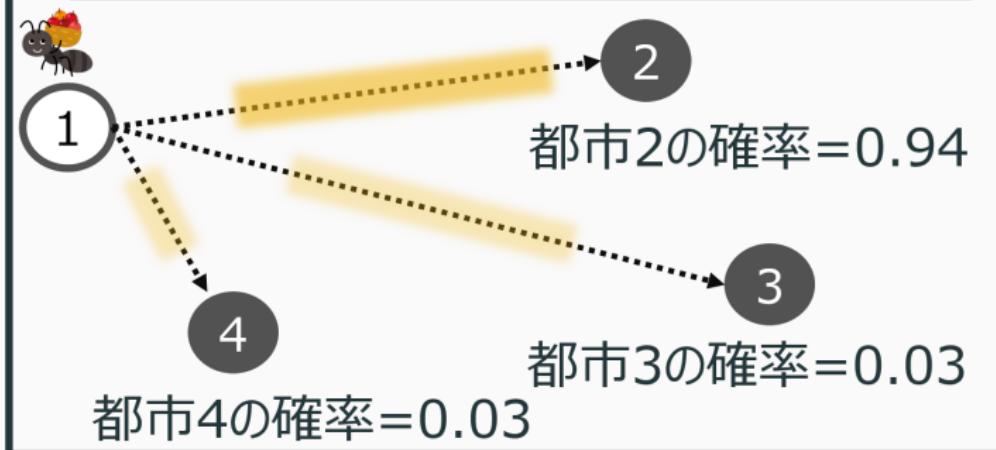


- 最良巡回路と同じ巡回路をアリは繰り返し生成
  - アリは袋小路に陥っている

## 改改改良: フェロモンの値に上限下限を導入

- フェロモンの極端な偏りを解消
  - どの経路も一定の確率で選ばれる

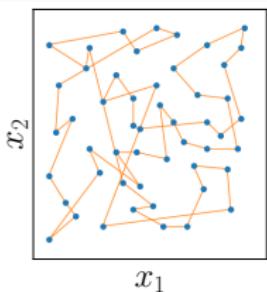
アリは高確率で都市2に移動,  
一定の低確率で都市3, 4にも移動



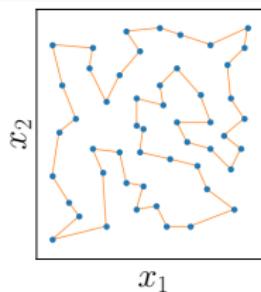
# eil51 にて改改改良版が探索中に求めた最良巡回路

最適巡回路 (長さ 426) に到達

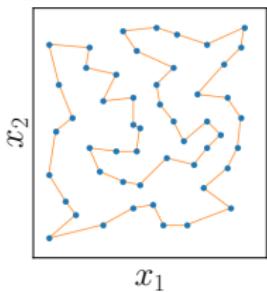
1 反復目, 長さ = 656



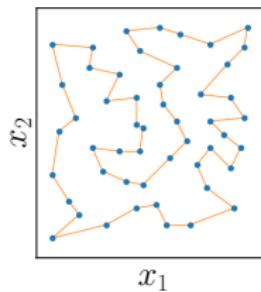
753 反復目, 長さ = 437



2446 反復目, 長さ = 428



2564 反復目, 長さ = 426



# まとめ: 進化計算アルゴリズムの改良研究を アリコロニー最適化を例に紹介した

## 進化計算アルゴリズムの改良の手順

- ① 欠点を実験的 / 理論的に明らかにする
- ② その欠点を補う要素を組み込む

## 重要: 元のアイディアに囚われないこと

- フェロモン量に上限下限を設けるアリはいない
- 模倣はあくまで手段であって, 目的ではない