

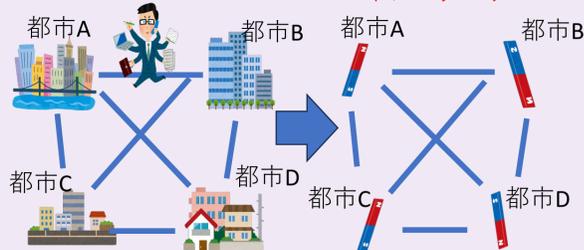
# イジングマシンによる制約付き問題の求解に関する研究

## 背景

### イジングマシン：組み合わせ最適化に特化した新計算原理

- 従来計算機(古典計算機)の性能向上が鈍化
- 新しい計算機としてイジングマシンが注目
  - 問題をイジングモデルに定式化
  - モデルのエネルギーを最小化する

巡回セールスマン問題

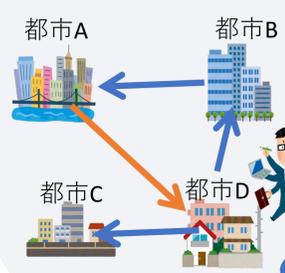


小さくしたいエネルギー関数  

$$H = \sum_{i,j} Q_{ij}x_i x_j$$

### 制約条件を持つ組み合わせ問題のイジングモデルへの定式化

- 組み合わせ最適化問題には制約条件を持つものが多い
- 制約違反する場合にエネルギーが増加するように定式化



目的関数に制約違反を防ぐ制約関数を追加

$$H = \lambda \sum_k C_k + \sum_{i,j} Q_{ij}x_i x_j$$

違反した時には増加→制約関数と目的関数の合計を小さくすることで問題を解く

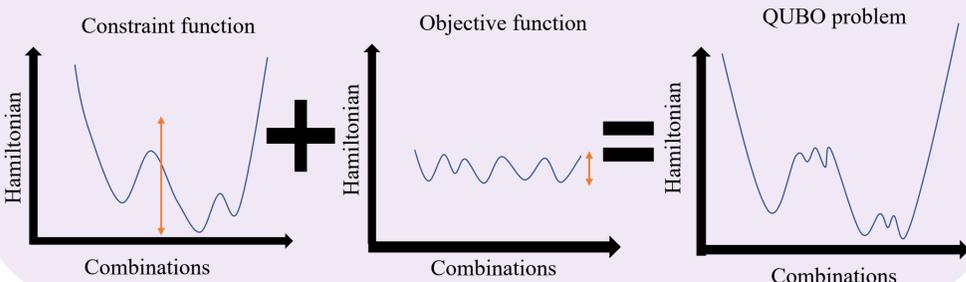
2回同じ都市を通るのは制約違反!

## 課題・提案

### 制約問題の精度悪化

- 制約違反を防ぐため制約関数は大きくする必要があるが
- 制約関数の影響が増加し目的関数を小さくしにくくなる  
→探索精度の悪化が問題に

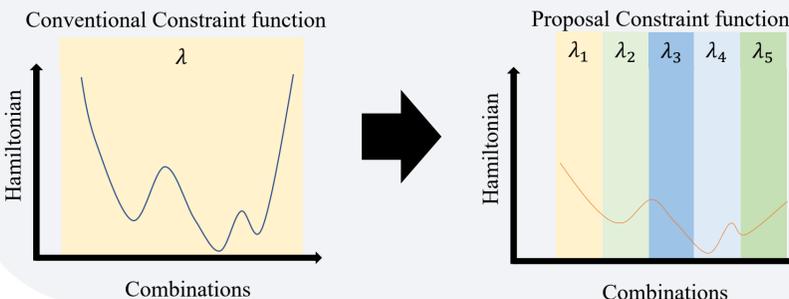
$$H = \lambda \sum_k C_k + \sum_{i,j} Q_{ij}x_i x_j$$



### 制約分割法

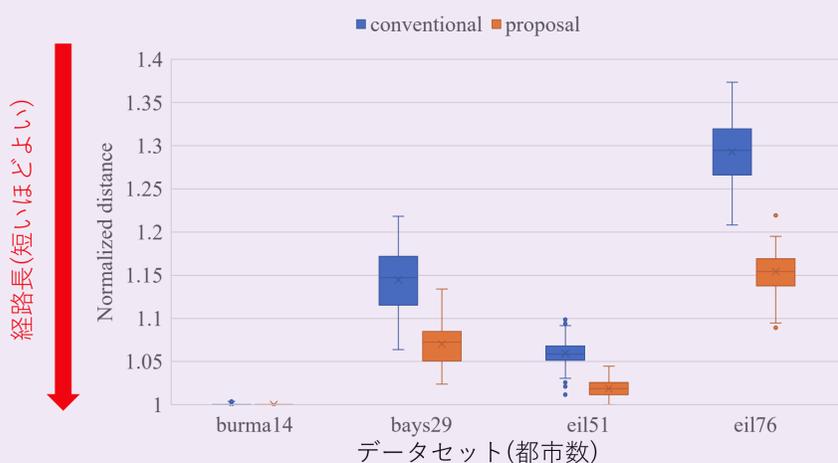
- 従来：制約関数に一つの制約係数
- 提案：制約関数を項ごとに分割
  - 分割した項と目的関数の関係を用い
  - 各項ごとに最小限の係数を与える  
→制約関数の影響を削減し探索精度を向上させる

$$H = \sum_k \lambda_k C_k + \sum_{i,j} Q_{ij}x_i x_j$$



## 巡回セールスマン問題を用いた評価結果

### 経路長による評価結果



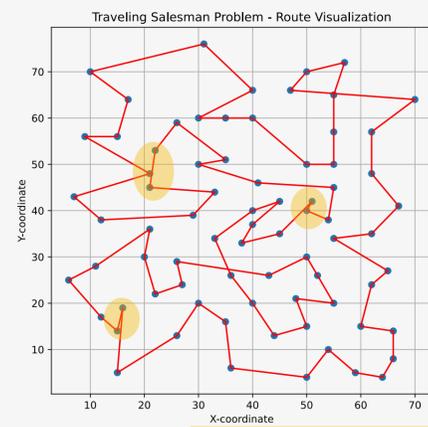
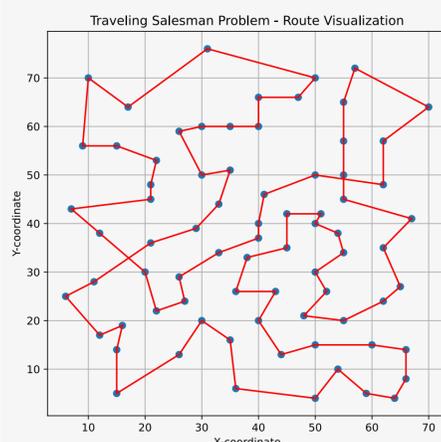
- 制約違反はどちらもなし
- 提案手法は経路長を短くできている
  - 最大で10%程度削減

### 巡回路可視化結果

eil76のそれぞれの手法の最短経路

提案手法の結果 経路長 586

従来手法の結果 経路長 650



効率が悪そうな経路

- 可視化結果からも精度の向上がわかる

### 今後の課題

- 巡回セールスマン問題以外の問題についても効果を調査
- 解の品質が向上するメカニズムを詳しく検証