

# イジングマシンを用いた移動手段の最適化

成瀬小春 (指導教員：工藤和恵)

## 1 はじめに

現代社会において、効率的で最適な移動は日常生活の重要な要素である。特に帰宅ルートの移動手段において、交通の混雑や時間の有効活用は大きな懸念事項となっている。本研究では、量子アニーリングに着想を得て開発されたイジングマシンを利用し、移動手段の最適化問題に取り組む。イジングマシンとは、組合せ最適化問題を高速に解くための新たな手法として注目を浴びているコンピュータである。

研究の目的は、帰宅ルートの移動手段において、費用、時間、快適さの何にどれほど重きを置くかでパラメータを設定し、イジングマシンによる計算手法を適用することで、より現実的で実用的な解を導き出すことである。新しい技術の活用により、個々の移動者にとって最も効果的で快適な帰宅移動手段を提供することが期待される。

## 2 問題設定

本研究では具体例として、丸の内線茗荷谷駅から小田急線厚木駅を対象として帰宅移動手段の最適化の解をイジングマシンで求めることにした。

## 3 定式化

エネルギーを表現するハミルトニアン  $H$  は、次式のように構成した。

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 \quad (1)$$

ハミルトニアンは4項で構成されており、具体的な項の中身については、はじめの3項について説明する。

$$H_1 = A_1 \sum_{i=1}^S \sum_{a=1}^M c_{i,a} x_{i,a} \quad (2)$$

$$H_2 = A_2 \sum_{i=1}^S \sum_{a=1}^M t_{i,a} x_{i,a} \quad (3)$$

$$H_3 = A_3 \sum_{i=1}^S \sum_{a=1}^M e_{i,a} x_{i,a} \quad (4)$$

ここで、式(2)は費用、式(3)は時間、式(4)は快適さに関する項である。

区間の総数を  $S$ 、移動手段の種類を  $M$  とした。イジングマシンを利用するにあたり、 $\{0, 1\}$  のいずれかをとるバイナリ変数  $x_{i,a}$  を用いる。区間  $i$  において、移動手段  $a$  が選ばれた場合に  $x_{i,a} = 1$ 、選ばれなかった場合  $x_{i,a} = 0$  となる。

$c_{i,a}$ ,  $t_{i,a}$  は、具体的な駅名を入力して検索した値とする [1, 2]。その結果が表1および表2である。

表 1: 費用

	電車	有料特急	タクシー
茗荷谷→池袋	178 円		2200 円
池袋→新宿	167 円		3100 円
新宿→海老名	513 円	1163 円	19600 円
海老名→厚木	136 円		1000 円

表 2: 時間

	電車	有料特急	タクシー
茗荷谷→池袋	6 分		13 分
池袋→新宿	8 分		18 分
新宿→海老名	40 分	44 分	83 分
海老名→厚木	2 分		6 分

表1, 2の各列の値を適当な数で割ることで、0~1の値に正規化し、移動手段として有料特急が存在しない区間には10を与える。

$e_{i,a}$  は、快適さとして、

- 混雑度
- 利用のしやすさ
- 居心地の良さ

を、考慮して0~1の値を与える。なお、ここで注意したいのが、快適であるほど小さい値を与えることである。さらに  $c_{i,a}$ ,  $t_{i,a}$  と同様に、有料特急が存在しない場合は10を与える。本研究では、表3のように設定した。

表 3: 快適さ

	電車	有料特急	タクシー
茗荷谷→池袋	0.06	10	0.01
池袋→新宿	0.05	10	0.01
新宿→海老名	0.1	0.001	0.01
海老名→厚木	0.04	10	0.03

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  はパラメータであり、費用、時間、快適さのうちで重きを置きたい項のパラメータを強くして調節することにより、最適な移動手段の解が得られる。パラメータは0~1の実数値で与える。

次に制約条件となる、ハミルトニアンの4項目について説明する。

$$H_4 = \sum_{i=1}^S \left( \sum_{a=1}^M x_{i,a} - 1 \right)^2 \quad (5)$$

この式(5)は行に関するOne-hot制約である。One-hot制約とは、あるカテゴリに対応して選ばれた要素が1

で、それ以外の要素は0でなければならないという制約である [3].

例えば、区間  $A \rightarrow B$ ,  $B \rightarrow C$ ,  $C \rightarrow D$  で制約が満たされている例を表 4 に示す. 同様に、制約が満たされていない例を表 5 に示す. 表 5 において、 $A \rightarrow B$  では移動手段が電車と有料特急の2つが選ばれており、また  $B \rightarrow C$  では移動手段が何も選ばれていないため、制約が満たされていない.

表 4: 制約が満たされている場合の  $x_{i,a}$

	電車	有料特急	タクシー
$A \rightarrow B$	1	0	0
$B \rightarrow C$	1	0	0
$C \rightarrow D$	0	1	0

表 5: 制約が満たされていない場合の  $x_{i,a}$

	電車	有料特急	タクシー
$A \rightarrow B$	1	1	0
$B \rightarrow C$	0	0	0
$C \rightarrow D$	0	1	0

## 4 結果

本研究において、茗荷谷駅から厚木駅への帰宅移動手段の最適化をイジングマシンを用いて検討した結果を示す. イジングマシンは Amplify を利用した [4].

例えば、なるべく費用をかけずに移動する手段を求めたい場合のパラメータを  $A_1 = 1$ ,  $A_2 = 0.5$ ,  $A_3 = 0.5$  と設定した結果が表 6 である. 茗荷谷→池袋, 池袋→新宿, 海老名→厚木での移動手段は電車, 新宿→海老名では有料特急という結果となった.

表 6: 費用に重きをおいた場合の  $x_{i,a}$

	電車	有料特急	タクシー
茗荷谷→池袋	1	0	0
池袋→新宿	1	0	0
新宿→海老名	0	1	0
海老名→厚木	1	0	0

また、快適さに重きをおいた場合の、パラメータを  $A_1 = 0.1$ ,  $A_2 = 0.1$ ,  $A_3 = 1$  と設定した結果が表 7 である. 茗荷谷→池袋, 池袋→新宿, 海老名→厚木での移動手段はタクシー, 新宿→海老名では有料特急という結果となった.

表 7: 快適さに重きをおいた場合の  $x_{i,a}$

	電車	有料特急	タクシー
茗荷谷→池袋	0	0	1
池袋→新宿	0	0	1
新宿→海老名	0	1	0
海老名→厚木	0	0	1

よって、このようにパラメータをうまく設定することで、どの区間でどの手段で移動するべきかを、イジングマシンによって解を出すことができた. 今回の結果からうかがえるのは、新宿から海老名までの移動手段として有料特急はかなり最適であるということである.

ただし、表 3 で示した快適さの設定は感覚的なものであり時間帯によっても左右され曖昧であるのに加え、パラメータの調節も分かり易いとは言い難いので改善の余地がある. 例えば、終電で帰宅するとして、タクシーの割増料金、快適さを変更して、パラメータを  $A_1 = 0.1$ ,  $A_2 = 0.1$ ,  $A_3 = 1$  と設定した結果が表 8 である. 茗荷谷→池袋, 海老名→厚木での移動手段は電車, 池袋→新宿はタクシー, 新宿→海老名では有料特急という結果となった.

表 8: 終電で快適さに重きをおいた場合の  $x_{i,a}$

	電車	有料特急	タクシー
茗荷谷→池袋	1	0	0
池袋→新宿	0	0	1
新宿→海老名	0	1	0
海老名→厚木	1	0	0

## 5 まとめ

本研究では、イジングマシンを応用した移動手段の最適化に焦点を当て、新たな視点から問題にアプローチをした.

今後の展望としては、より大規模で複雑な移動ネットワークや異なる制約条件に対する適用を検討することが挙げられる. また、他の最適化手法との比較や実証実験による信頼性の向上が重要であると考えられる. 総じて、本研究が提案した手法が移動手段の効率向上に寄与する可能性があることが示され、今後の研究において更なる進展が期待されることを願う.

## 参考文献

- [1] YAHOO!JAPAN 乗換案内, <https://transit.yahoo.co.jp/> (2024 年 1 月 18 日アクセス).
- [2] GO タクシー料金検索, <https://go.goinc.jp/charge-search> (2024 年 1 月 18 日アクセス).
- [3] 工藤和恵, 基礎から学ぶ量子コンピューティング—イジングマシンのしくみを中心に—, オーム社 (2023).
- [4] Fixstars, 量子アニーリングと共に進化するクラウド Fixstars Amplify, <https://amplify.fixstars.com/> (2024 年 1 月 18 日アクセス).