

公立はこだて未来大学 2025 年度 システム情報科学実習  
グループ報告書

Future University Hakodate 2025 Systems Information Science Practice  
Group Report

プロジェクト番号/Project No.  
07

プロジェクト名

ダイナミクスインサイト：複雑パターンの解明

Project Name

Dynamics Insights: Uncovering Complex Patterns

グループ名

数理モデリング班

Group Name

Mathematical Modeling Group

プロジェクトリーダー/Project Leader

白木慶汰 Keita Shiraki

グループリーダー/Group Leader

池田創太 Sota Ikeda

グループメンバー/Group Member

池田創太 Sota Ikeda

白木慶汰 Keita Shiraki

吉田奏太 kanata Yoshida

中田創大 Sota Nakata

勝郁也 Fumiya Katsu

指導教員

加藤譲 義永那津人 ウラジミールリアボフ 栗川知己 リヴァーズダミアン

Advisor

Yuzuru Kato Natsuhiko Yoshinaga Riabov Volobymyr Kurikawa Tomoki  
Rivers Damian

提出日

2026 年 1 月 21 日

Date of Submission

January. 21, 2026



## 概要

本プロジェクトでは日常的に見られるダイナミクスの複雑なパターンを対象に、数理モデルやデータ解析を用いてその構造やメカニズムを解明することを目的としている。また、その過程で数学やデータ解析の技術を習得することも目的の一つである。数理モデルは、自然現象や社会課題といった複雑な現象を数式を用いて単純化 (モデル化) する手法であり、そのモデルに基づいて現象の予測や分析を行うことができる。例を挙げると、人の歩行モデルを作成することで、ロボットの二足歩行開発に貢献していたり、鳥の群れの再現をすることにより、映画のCGに利用されていたりする。食堂は多くの人が限られた時間に集中して利用するため、人の行動が顕著に現れやすい空間であることから、本研究の対象として適していると考えた。本プロジェクトでは主に二つのテーマに取り組んだ。一つ目は、食堂における渋滞現象である。多くの人が限られた時間に集中して行動する空間において、どのようなパターンや要因が渋滞を引き起こすのかをモデル化し、そのシミュレーションを行った。二つ目は、座席の選択の仕方である。効率性だけでなく、快適性も考慮したモデルを目指し、シミュレーションを作成した。

(文責: 勝郁也)

**キーワード** 数理モデル, シミュレーション, 渋滞現象

# Abstract

This project aims to elucidate the structure and mechanisms of complex patterns in everyday dynamics using mathematical models and data analysis. Another objective is to acquire mathematical and data analysis skills through this process. Mathematical modeling is a technique that simplifies (models) complex phenomena, such as natural phenomena or social issues, using mathematical equations. Based on these models, predictions and analyses of the phenomena can be performed. For example, creating a human walking model has contributed to the development of bipedal robots, while recreating bird flocks has been utilized in movie CGI. The cafeteria is an ideal subject for this study because it is a space where human behavior is particularly evident, as many people concentrate their use within a limited timeframe. This project primarily addressed two themes. The first was congestion phenomena in cafeterias. We modeled and simulated the patterns and factors causing congestion in spaces where large numbers of people concentrate their activities within limited time frames. The second theme was seat selection methods. We aimed to create a simulation model that considered not only efficiency but also comfort.

**Keyword**    mathematical model, Simulation

# 目次

<b>第 1 章</b>	<b>はじめに</b>	<b>1</b>
1.1	背景と目的 . . . . .	1
1.2	先行研究 . . . . .	1
1.3	本研究の重要性 . . . . .	1
<b>第 2 章</b>	<b>関連技術</b>	<b>2</b>
2.1	前期 . . . . .	2
2.1.1	使用したプログラム . . . . .	2
2.1.2	数理モデル . . . . .	2
2.1.3	2次元セルオートマトン . . . . .	2
2.1.4	データ分析、比較方法 . . . . .	2
2.2	後期 . . . . .	3
2.2.1	使用したプログラム . . . . .	3
2.2.2	数理モデル . . . . .	4
2.2.3	シミュレーテッドアニーリング . . . . .	4
2.2.4	データ分析、比較方法 . . . . .	4
<b>第 3 章</b>	<b>一年を通して行った活動の要約 (および成果)</b>	<b>6</b>
3.1	前期の成果 . . . . .	6
3.2	後期の成果 . . . . .	6
3.3	今後の展望 . . . . .	6
	<b>参考文献</b>	<b>7</b>

# 第 1 章 はじめに

## 1.1 背景と目的

近年、過去の大量のデータを用いて、身の回りの現象の分析・解明、課題解決を行っていく技術が必要になってきている。大量のデータは、さまざまな要因が絡まっているため、一見複雑なことが多い。そこで我々は、複雑な現象を単純なモデルにするため、数理モデルに着目した。数理モデルを学習する上で、2次元セルオートマトンを題材とした。2次元セルオートマトンに着目した理由は、セルを自分たちで作成したルールによって動かすことができるからである。単純なモデルを作成するためには、いくつかのルールを設定しセルに動きを与える必要がある。そこで、単純なルールをいくつか設定することで複雑な現象を再現できる2次元セルオートマトンを使用することで、渋滞モデルを再現できると考えた。本プロジェクト学習では、渋滞や混雑の状態を数理モデル化し、分析・解決手法の提案を行うことを目的とする。

(文責: 中田創大)

## 1.2 先行研究

食堂の渋滞モデルを作成し、シミュレーションを行う際、車や人による渋滞についての研究を参考にすることにした。西成 [1] は、「車の密度の増加とともに交通量が減少する状態」を渋滞の定義としている。ここでいう交通量とは、5分の間にある地点を通過した車の台数のことで、密度とは、その付近 1km あたりに車が何台いるかという量である。西成はこの定義を定め、セルオートマトンを用いて渋滞解消法の提案を行った。セルオートマトンを採用した理由として西成は、現実の基本的性質である単純な排他ルールに注目することで、現実のモデルも定性的に再現できるからだと述べた。

(文責: 中田創大)

## 1.3 本研究の重要性

大学の食堂は、多くの学生や教員が限られた時間内に集中して利用するため、渋滞が日常的に発生している。本プロジェクトでは、食堂における人の流れのシミュレーションを通じて渋滞の発生のメカニズムや解決策を考察する。

(文責: 勝郁也)

## 第 2 章 関連技術

### 2.1 前期

#### 2.1.1 使用したプログラム

本プロジェクトでは Python を使用。必要なライブラリは pygame、numpy、matplotlib、sys など。

#### 2.1.2 数理モデル

浜田 [2] によると、非自明な含意を導くだけでなく、検証すべき仮説を単なる思いつきを超えて理論から導出できたのは、数理モデルによって現象を定式化したからであるという。このことから、シミュレーションを行う際に数理モデルを採用した。

#### 2.1.3 2次元セルオートマトン

本プロジェクトでは、食堂における人の流れや渋滞の発生状況をモデル化する方法として、「2次元セルオートマトン」を採用した。2次元セルオートマトンは、空間をマス目状のセル（格子）に分割し、各セルがとある状態（例：人がいる/いない、障害物である、ゴールなど）を持つ。そして、それぞれのセルが、自身と周囲のセルの状態に基づき、事前に定められたルールにしたがって時間とともに状態を更新していくモデルである。

この手法を採用した理由は、渋滞のような現象をシンプルなルールによって表現できる点である。渋滞における人の位置や行動は、周囲の混雑状況や進行方向に強く影響されるが、2次元セルオートマトンを用いることで、このような影響を局所的な状態変化として自然に表現することができる。

さらに、2次元セルオートマトンには以下の特徴を持つ。

- ・視覚的にわかりやすい表現ができる
- ・拡張性が高く、様々な状況への適応が容易である
- ・単純な動きの集まりが、全体として複雑な流れを生み出す

これらの点から、2次元セルオートマトンは、人の流れや混雑のような現象をシンプルかつ柔軟にモデル化するための手法として、有効であると判断し、このようなモデルを採用した。(図 2.1)

(文責: 白木慶汰)

#### 2.1.4 データ分析、比較方法

まず、2次元セルオートマトンのシミュレーションに1つの視覚補助と2つのグラフ出力を設けた。視覚補助は、シミュレーション内の人が目的にしている場所に進めない場合に、動きをやめ、色を青からオレンジに変えるものだ（例えば、ご飯を受け取った後、目的のレジに既に人がいる場合、歩くのを止めてオレンジ色になる）。これにより、オレンジのセルが多くある場所が、渋滞が起きている、または起こりやすい場所だと推測することができる。今回のシミュレーションで

は、レジと下膳の場所で渋滞が起こりやすいのがわかった。

次にグラフについて、図 2.1 は横軸に時間、縦軸に食堂への入場者数、退場者数を取った折れ線グラフである。これは、もし渋滞が起こらなければ入場者数と退場者数のグラフの形が同じになるはずである。しかし実際には、入場者数のグラフに比べて退場者数が少なく、時間がかかっている人がいる。これは、入場後に渋滞があり、入場から退場までの時間が遅延していることがわかる。(図 2.2) 渋滞があった人の遅延時間は最短で2分以上であった。図 2.2 は横軸が入場から退場までに要した時間、縦軸が人数のヒストグラムである。時間が最小の人が 30 分ほどで退場しているのに対し、最頻値では 15 分以上の遅延、最大値では 30 分の遅延があった。

これらのグラフから、食堂ではレジと下膳の場所で主に渋滞が起こり、渋滞があった人は最短 2 分、最頻 15 分、最大 30 分の遅延があった。

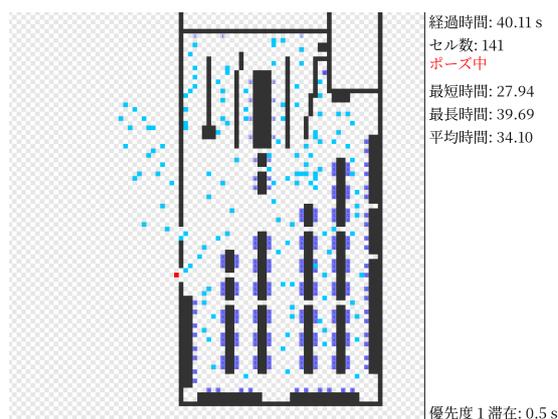


図 2.1 シミュレーションの様子

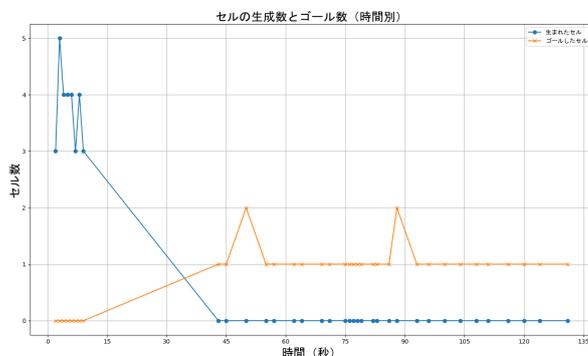


図 2.2 食堂の入退場者数

## 2.2 後期

### 2.2.1 使用したプログラム

前期と同様 Python を使用。必要なライブラリは pygame、numpy、matplotlib、sys など。Github を用いて共同作業をした。

## 2.2.2 数理モデル

本研究では、食堂における座席選択の状況を対象として数理モデルを構築した。本モデルの目的は、個々の利用者の行動を単純化しつつ全体としての座席選択の傾向を再現し、評価可能な形で可視化することである。現実の食堂環境は多様な要因が複雑に絡み合っているため、本研究では問題の本質を捉えるために必要な要素に絞って抽象化を行った。具体的には、利用者や座席を離散的な要素として扱い、座席の配置や洗濯を一定のルールに基づいて表現した。

モデル設計においては、計算機上でのシミュレーションが容易であることと、配置の良し悪しを定量的に評価できることを重視した。そのため、座席の状態や周辺の利用状況を数値として扱い、全体の評価指標を定義することで、異なる配置同士の比較が可能となるようにした。また、モデルは可視化を前提として設計されており、直感的に把握できる点も特徴である。一方で、本モデルは現実のすべての行動や心理を再現するものではなく、あくまで傾向を把握するための近似である。このような前提のもとで、本研究では数理モデルを用いたシミュレーションを行った。

(文責: 白木慶汰)

## 2.2.3 シミュレーテッドアニーリング

本研究では、最適化手法の一つであるシミュレーテッドアニーリングを用いた。シミュレーテッドアニーリングは、金属の焼きなまし過程を模倣した確率的最適化アルゴリズムであり、探索初期には評価値が悪化する解も一定確率で受け入れ、探索が進むにつれてその確率を徐々に低下させていく点に特徴がある。この仕組みにより、局所最適解に陥ることを回避しながら、より良い解を探索することが可能となる。本研究においては、最適な座席の座り方を探索する目的で本手法を適用した。座席配置のように解空間が広く、要素間の関係が複雑な問題に対しても柔軟に適用できる点は、シミュレーションモデルとの親和性が高い。シミュレーテッドアニーリングは、組合せ最適化問題や配置問題などに広く利用されており、本研究のような人の行動や配置を扱うシミュレーションにおいても有効な手法である。今回は、一日あたりの平均的な利用者が400人以上だと実際に食堂を運営する生協の方に伺い、400人をランダムに15人のグループに分け10グループを1世代として全ての人が入場するまでシミュレーテッドアニーリングを続けた。初めに第1世代をランダムに配置し、空席と着席済みの2席を入れ替える操作を、1世代あたり10万回行った。その際に一定確率でスコアが下がる座席配置でも受け入れ、その確率を次第に下げ、局所最適解に陥ることを回避した。最終的にたどり着いた座席配置をその世代の最適解とした。また、5世代分食堂に滞在した人は退場するようになっている。このようにデータを収集し、最適解を求めていった。

(文責: 白木慶汰)

## 2.2.4 データ分析、比較方法

図2.3に15世代目までの過程の画像を記した。図中の色と数字は各グループを表している。始めはランダムな位置にグループで座り始め、最終的には食堂全体に人が入るすべての世代の入場・退場が終わると、ある程度の規則を見出すことができ、グループ同士で隣り合って座ること、各グループの間に1席以上の空席を開けること、食堂端のカウンター席をグループで利用することなどが確認できた。カウンター席のグループ利用は既に浸透している「カウンター席は1人利用の際に使う席」という考え方に対して、食堂を快適に利用しつつ席の充填率を上げる結果となった。評価

関数は図 2.4 となっており、これは食堂内の全席を対象に重複を許してスコアを計算するものである。また、対象の席の上下左右の 4 近傍に対して同じグループの人がいる時 +100、違うグループの人がいる時-200 となっている。

(文責: 池田創太)

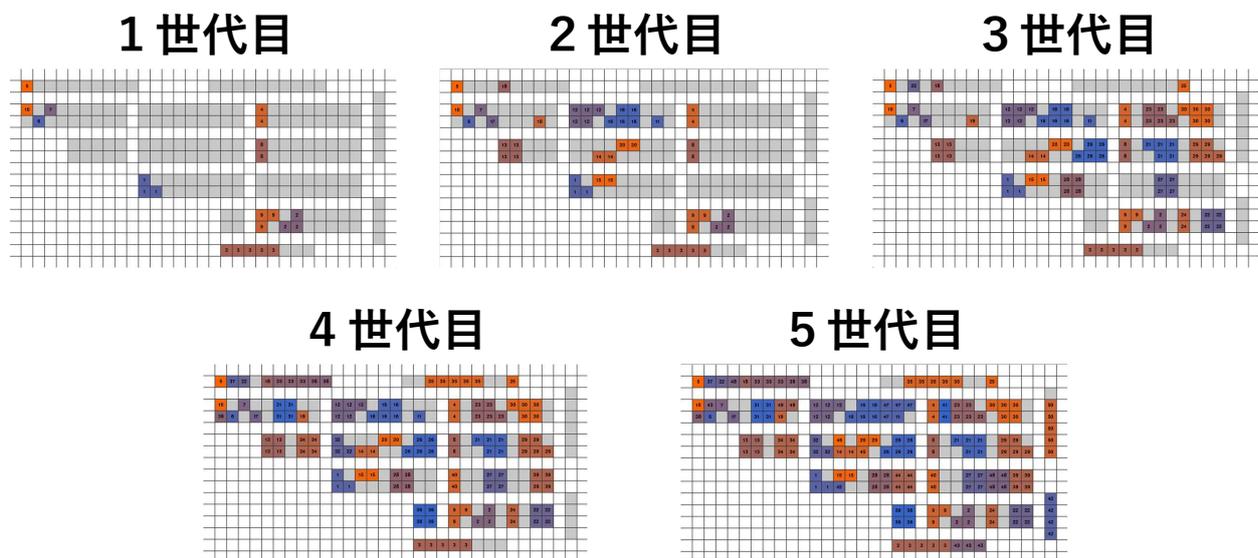


図 2.3 シミュレーションの様子

### 3. 手法: 評価関数

・評価関数(座標の評価)

$$A_{ij}(R) = \begin{cases} +1 & \text{人がいる} \\ +0 & \text{空席または通路} \end{cases}$$

4近傍にいる人の数

$$S(R) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^4 \left( A_{ij}(R) f(g_i, g_j) \right)$$

食堂内のすべての人に対して

条件付きで得点加算

$$f(g_i, g_j) = \begin{cases} +100 & g_i = g_j \quad \text{同じグループの人なら} \\ -200 & g_i \neq g_j \quad \text{違うグループの人なら} \end{cases}$$

S : スコア  
 N : 食堂内の人数  
 R : 食堂の通路、空席、着席済みの席全席の配置  
 $g_i$  : グループ  $i$

図 2.4 評価関数

## 第3章 一年を通して行った活動の要約 (および成果)

### 3.1 前期の成果

我々はまず、セルオートマトンに触れるところから始め、processing でライフゲームやセルオートマトンの挙動を確認した。その後、食堂のモデルを再現し、人の動きを2次元セルオートマトンを用いて再現した。また、食堂の利用時間をグラフ化した。その結果、食堂ではレジと下膳の場所で主に渋滞が起こり、渋滞があった人は最短2分、最頻15分、最大30分の遅延があることがわかった。

(文責: 勝郁也)

### 3.2 後期の成果

もっと現実的で、コストをかけずに改善可能な方法はないかと考え直した結果、席の配置や座り方そのものを最適化することで混雑を緩和できるのではないかと考え、席配置のシミュレーションと評価を後期の研究テーマとして設定した。座り方にスコアを付け、そのスコアが高くなるように座席の交換を繰り返していく、「シュミレーテッドアニーリング」という方法で最適解を探した。結果、座り方を最適化することで、今までより混雑時の席の充填率が上がり多くの人が快適に利用することができることが分かった。

(文責: 吉田奏太)

### 3.3 今後の展望

今後の展望として、評価関数の得点設定を変更することでより快適で充填率の高い席の最適な配置を模索していきたい。また、食堂入場時や会計後にに端の席から座るように呼び掛ける、空席を開けないように詰めて座るように呼び掛けることが想定できる。

(文責: 中田創大)

## 参考文献

- [1] 西成活裕. 渋滞のサイエンスとその解決法, 日本物理学会. 日本物理学会誌. Vol.71, No.3, 2016, 170-173p.
- [2] 浜田宏. なぜ数理モデルが必要か：理論と実証の対話. 数理社会学会, 理論と方法, 2022, 37 巻 1 号.