



S<sup>4</sup> Simulation System

汎用シミュレーションシステム

S<sup>4</sup> Simulation System 新バージョンご紹介

**NTT DATA**  
Trusted Global Innovator



株式会社NTTデータ数理システム  
S<sup>4</sup> Simulation System 担当  
s4-info@msi.co.jp

- シミュレーションとは
- S<sup>4</sup> Simulation System の概要
- 人流シミュレーション機能の紹介
- S<sup>4</sup> Simulation System と強化学習を活用した最新事例の紹介

2023年3月リリースの新機能の紹介を交えながら紹介をいたします

【新機能】

最適化アルゴリズムの追加  
人流シミュレーションの結果分析機能の強化  
地図エディタのPythonコード管理機能

# シミュレーションとは

# シミュレーションのイメージ



フライトシミュレーター



地球シミュレーター

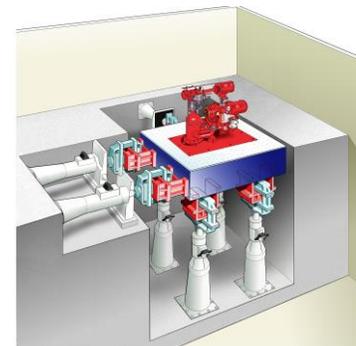


シミュレーションゲーム



ドライビングシミュレータ

出典：<https://www.honda.co.jp/news/2010/c100302.html>



耐震シミュレーション

現実のシステムをモデル化（模擬）して、  
モデルを実行することで、  
その振る舞いを分析・予測する問題解決手法

## 現実の複雑なシステム



目的により  
特徴を抽出し  
簡略化

モデル化

## モデル



分析

評価

検証

# シミュレーションが有効となる場面

## • 実際に試すには莫大なコストや時間、労力がかかる。

- 渋滞回避政策
- 避難経路設計

## • 計画を実行したときの効果や結果を検証したい。

- 計画したスケジュールの検証
  - ✓ シフトスケジュール
  - ✓ 建設工程、修繕計画
  - ✓ 在庫管理
  - ✓ 生産計画
- 広告効果の検証
  - ✓ 広告時期の検討
  - ✓ インターネット広告施策



## • 不確定要素がある事象の予測をしたい。

- 精緻な予測が出来るという意味ではない
  - ✓ 施策を打った際の挙動を知る事が出来る
  - ✓ 予測結果に至った理由、経緯を知る事が出来る（ホワイトボックスな予測）
  - ✓ 挙動を理解・確認し議論の基にするための物
- 事前データなしの予測(複数のシナリオによる予測結果の比較)例  
新商品の購入者数予測

# S<sup>4</sup>が対象としているシミュレーションの種類

## 離散イベントシミュレーション

- **状態変化が離散的に発生するような現象をシミュレートする**
  - 排他的なサービスを利用するために発生する待ち行列の時間変化シミュレーションなど

## 連続シミュレーション(システムダイナミクス)

- **状態量が連続的に変化するような現象をシミュレートする**
  - 微分方程式であらわされたモデルにおける各状態量の時間変化シミュレーションなど

## エージェントシミュレーション

- **全体の挙動をエージェントの挙動からシミュレートする**
  - 一定のルールに従い自律的に行動するエージェントが、相互に作用し合いながら行動する事によって生じる現象のシミュレーションなど
  - 多数のエージェントからなる仮想的な世の中を構築する

# S<sup>4</sup>で扱えるシミュレーションモデル例

- **銀行の窓口、ATM**

- 窓口に並ぶ平均人数
- 窓口担当者数と行列人数の関係

- **工場などの生産システム**

- 機械数と生産個数、リードタイムの関係
- 作業時間のブレを考慮した生産計画の作成
- 欠陥品の発生率と生産個数の関係
- 受注前に納期遅れの可能性を検証

- **サプライチェーンなど流通システム**

- 在庫量最小化
- 発注タイミングの検討
- ロスと仕入れ数との関係

- **エネルギー、資源政策**

- 石油精製プロセススケジュール
- 石油輸送
- 資源量と発電量の関係

- **環境、生態系のシミュレーション**

- 自動車の排気ガス量と野生動物数との関係
- 河川の汚染物質質量と水生生物の個体数

- **医療**

- インフルエンザ拡散(SIRモデル)

- **通信システム**

- ネットワーク設計
- パケット通信量と速度の関係
- ルータ数検討

- **コールセンター**

- 放棄呼数とオペレータコストとの関係
- オペレータの稼働率

- **人間ドック**

- 検査機器数と総受診時間の関係
- 受診コース計画検討

- **交通システム**

- 渋滞量と信号制御方法検討
- 道路建設検討

- **防災**

- 避難経路設計
- 非常出口設計

- **感染症モデル**

- 予防効果検証

- **マーケティング**

- 広告効果測定
- SNSによる情報伝搬

これら全てのモデルの構築を支援する  
汎用シミュレーションシステム  
S<sup>4</sup> Simulation System を開発

# 02

## S<sup>4</sup> Simulation System概要

# S<sup>4</sup> Simulation Systemの用途は多彩

## 広告・マーケティング

事例

- Twitter による広告効果測定
- インターネット広告施策検討

## 製造業

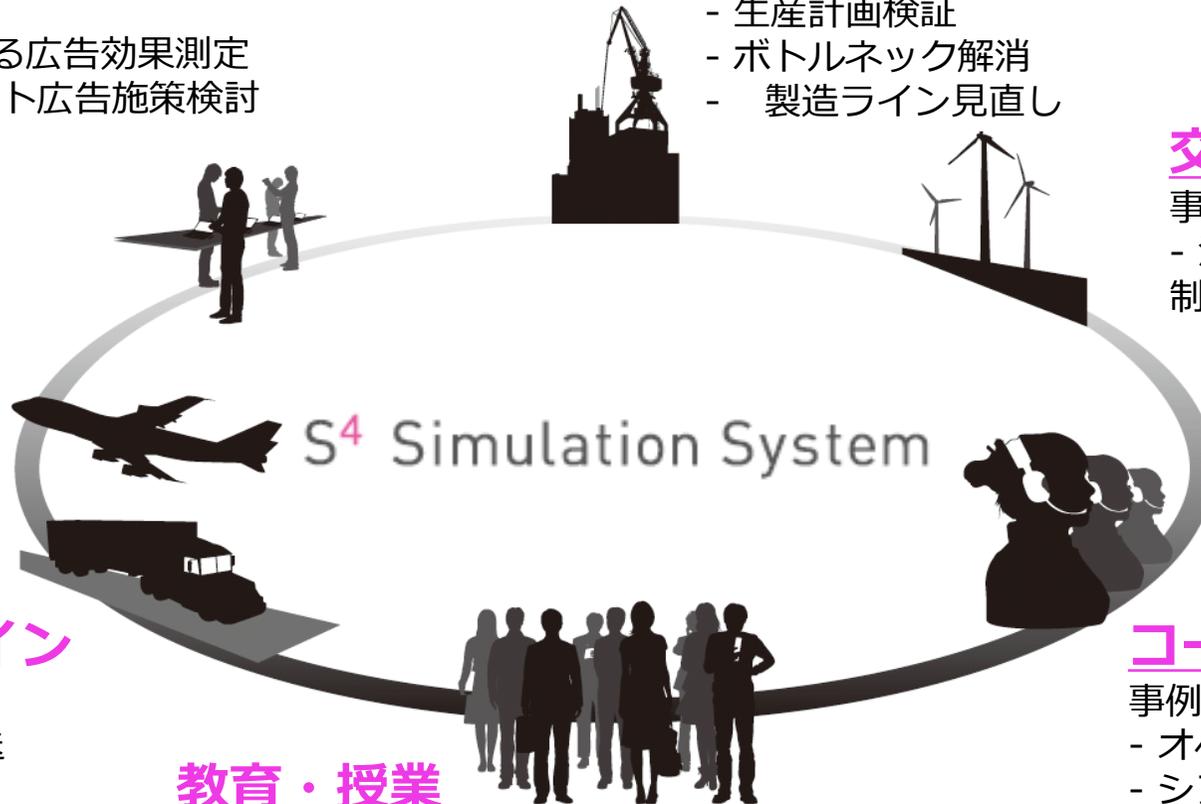
事例

- 生産計画検証
- ボトルネック解消
- 製造ライン見直し

## 交通システム

事例

- 渋滞緩和の為の信号制御方法検討



## サプライチェーン

事例

- 災害時の物資輸送
- 商品の在庫計画

## 教育・授業

事例

- シミュレーション実習授業
- オペレーションズ・リサーチ実習
- 研究指導
- 論文執筆

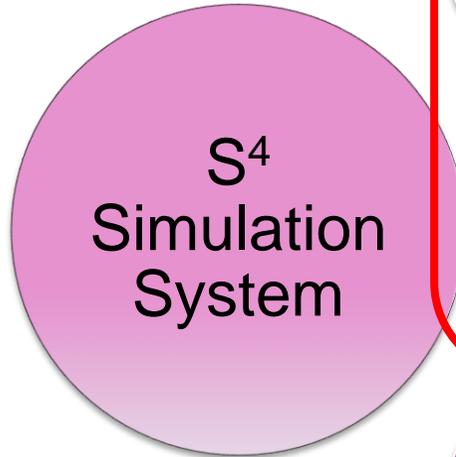
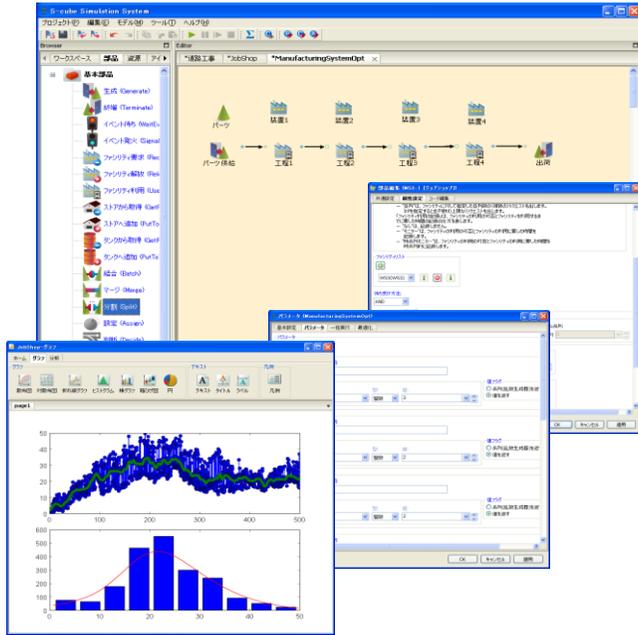
## コールセンター

事例

- オペレータ要員計画
- シフト計画検証

その他の事例、事例詳細、ご相談ごと、お気軽にお尋ねください。

# S<sup>4</sup> Simulation Systemとは



- NTTデータ数理システムが独自に開発
- 純国産商用シミュレータ
- GUIによる直観的なモデリング
- 柔軟なカスタマイズ性能
- ハイブリッドシミュレーション
- グラフ・統計分析
- 最適化・感度分析・実験計画

2010年のリリースから毎年バージョンアップを重ねています。  
**2023年3月にはVer6.3をリリース予定!**

# GUIモデリング(離散系・連続系シミュレーション)

The screenshot displays the S-Quattro Simulation System interface. On the left, a 'Browser' pane lists various components like '生成 (Generate)', '終端 (Terminate)', and 'ファシリティ要求 (Facility Request)'. The main 'Editor' window shows a flow diagram with 'パーツ供給' (Part Supply), '工程1' (Process 1), and '装置1' (Device 1). A '部品編集 (部品2 [製品の製造工程])' dialog box is open, showing configuration options for 'ファンリテイスト' (Facility List) and '待ち受け方法' (Waiting Method).

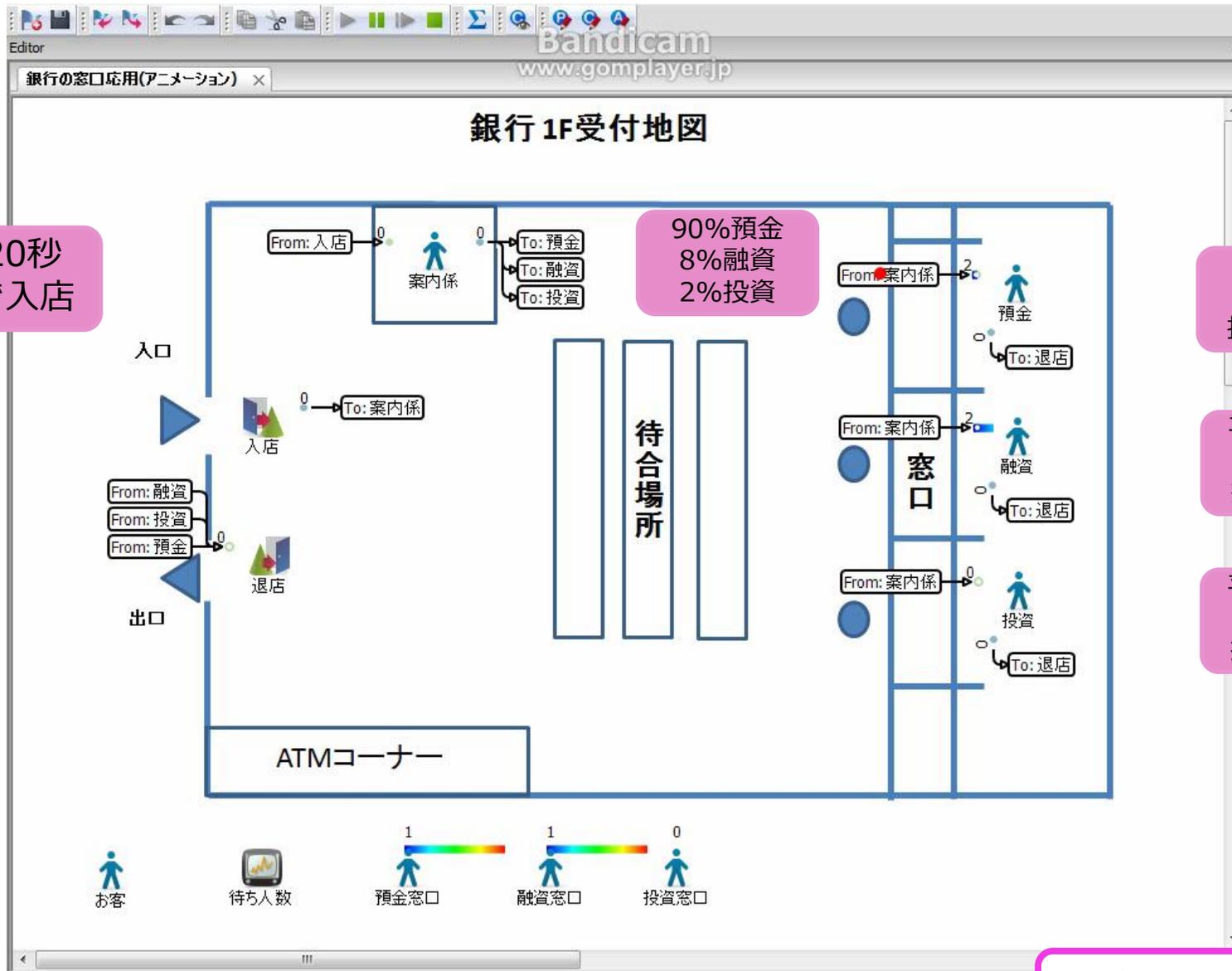
**マウス操作により部品を配置・連結してモデル作成**

**部品のパラメータ設定画面**

銀行...  
製品の製造工程: 読み込みました。(2015-07-16 10:15:06)  
SIR(連続): 読み込みました。(2015-07-16 10:21:12)  
読み込みました。(2015-07-16 10:23:30)

シミュレーションの構成要素となる部品

既存の部品を配置、人やモノの流れをフローで表現。部品のカスタマイズも可能。プログラミングをしない現場担当者も利用可能。



平均20秒  
間隔で入店

平均20秒  
で処理  
担当者1人

平均120秒  
で処理  
担当者1人

平均130秒  
で処理  
担当者1人

最適な窓口の数は？

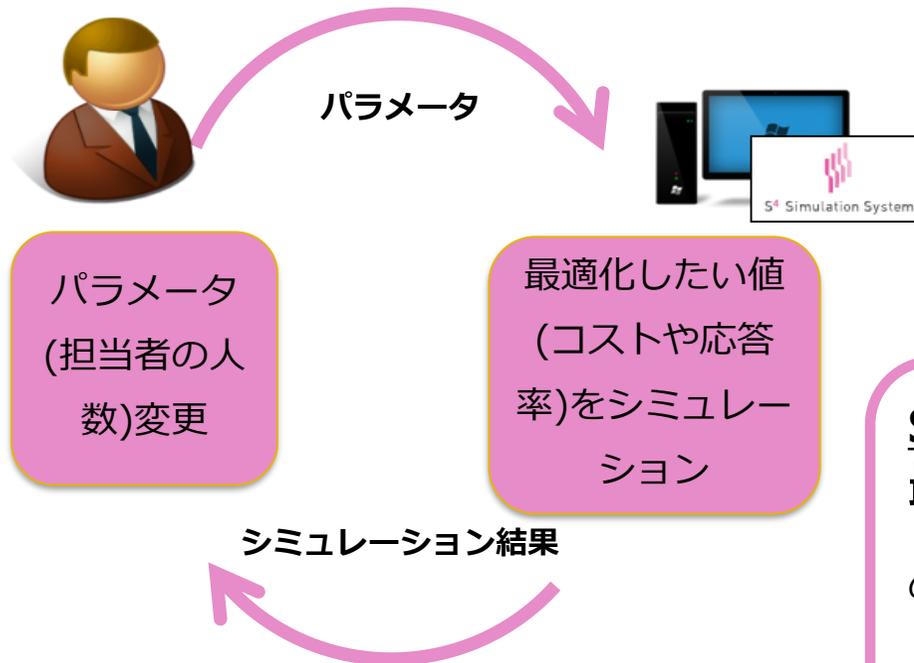
# シミュレーション最適化

## シミュレーション結果が良くなるパラメータを知りたい。

- 例：銀行の窓口をシミュレーション
  - 窓口の数を増やせば混雑は解消するが、コストがかかる
  - 最適な窓口の数（パラメータ）は？

### 通常のシミュレーション

様々なパラメータの値を試行錯誤



### 問題

試行したいパラメータ数が多い、1回のシミュレーションに時間がかかる



### S<sup>4</sup>の最適化機能

**最適なパラメータの値を高速に自動探索。**

- DFO、PSO、MOPSOといったシミュレーション向きの最適化アルゴリズムを標準で搭載
- 最適化したい値が複数ある場合の多目的最適化も可能
- 最適化経過をリアルタイムにモニタリング可能

# ベイズ最適化(2023年3月末リリース新機能)

- シミュレーション最適化の手法として、Preferred Networks社より発表された Optuna より、TPE (Tree-Structured Parzen Estimator)が選択可能になりました。
- TPE はベイズ最適化の一種で、観測点から確率的に良質な点を探索してくれるため、効率的にシミュレーションパラメータの最適化を実現します。

最適化メソッド: think\_prior:

Optuna(TPE) ▼ あり ▼

before\_weight(>0):  
1.0 ▼ ▲ 🌐

think\_magic\_clip:  
あり ▼

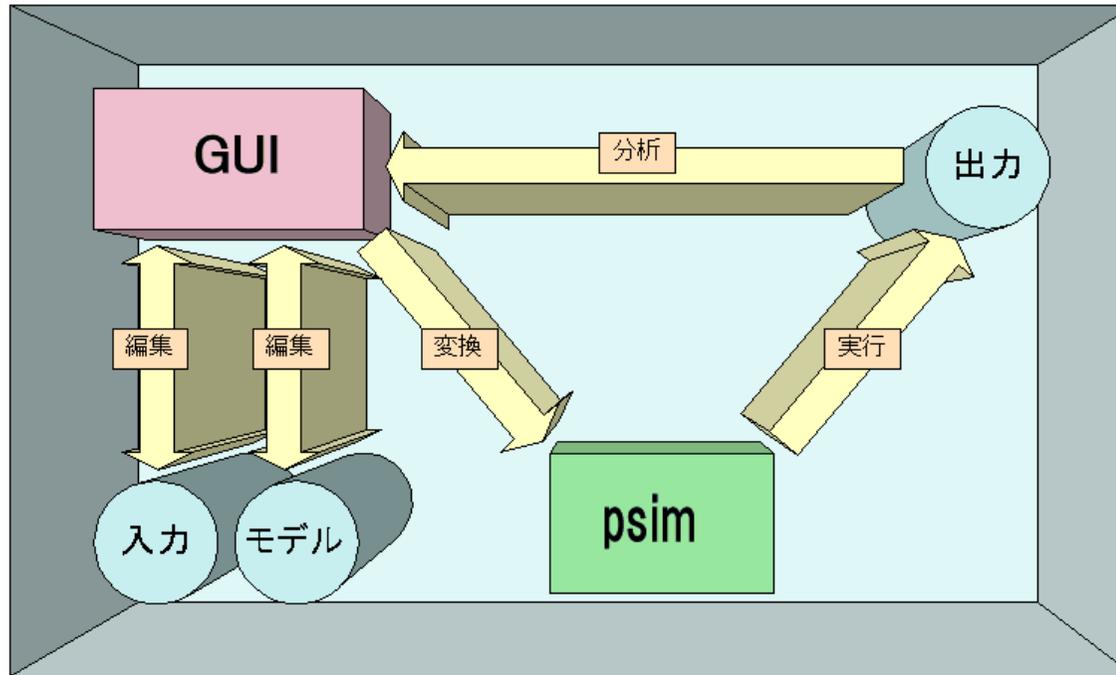
think\_endpoints:  
なし ▼

n\_startup\_trials(>=0):  
10 ▼ ▲

n\_ei\_candidates(>0):  
24 ▼ ▲

設定項目

# システム構成



## GUI

- ☆ wxPythonを用いて開発
- ☆ 入出力データの管理
- ☆ モデルの管理・編集・実行

## psim

- ☆ Python言語上で動作するプロセス指向のシミュレーション記述言語
- ☆ イベント処理エンジン
- ☆ 乱数生成や分布推定などの分析機能も併せ持つ Pythonライブラリ集

**モデリングからシミュレーションの実行・結果の分析まで全てGUIを通して行えます。**

# 03

## 人流シミュレーション機能

# 人流シミュレーションとは

## • 人流とは

- イベント会場近くの歩道、駅、ショッピングモール、大規模施設のように、人が集まる空間において、各人がそれぞれの目的地に向かう事で起こる人の流れ
- 新型コロナウイルスの流行、2020年東京オリンピック、2025年大阪で万博博覧会などもあり、人流シミュレーションは注目されている技術

## • 問題点

- 混雑が発生し、目的地に着くまでに時間がかかる
- 目的地で行列が発生する
- イベント会場において、事故が起こる
- 自然災害時の逃げ遅れ etc

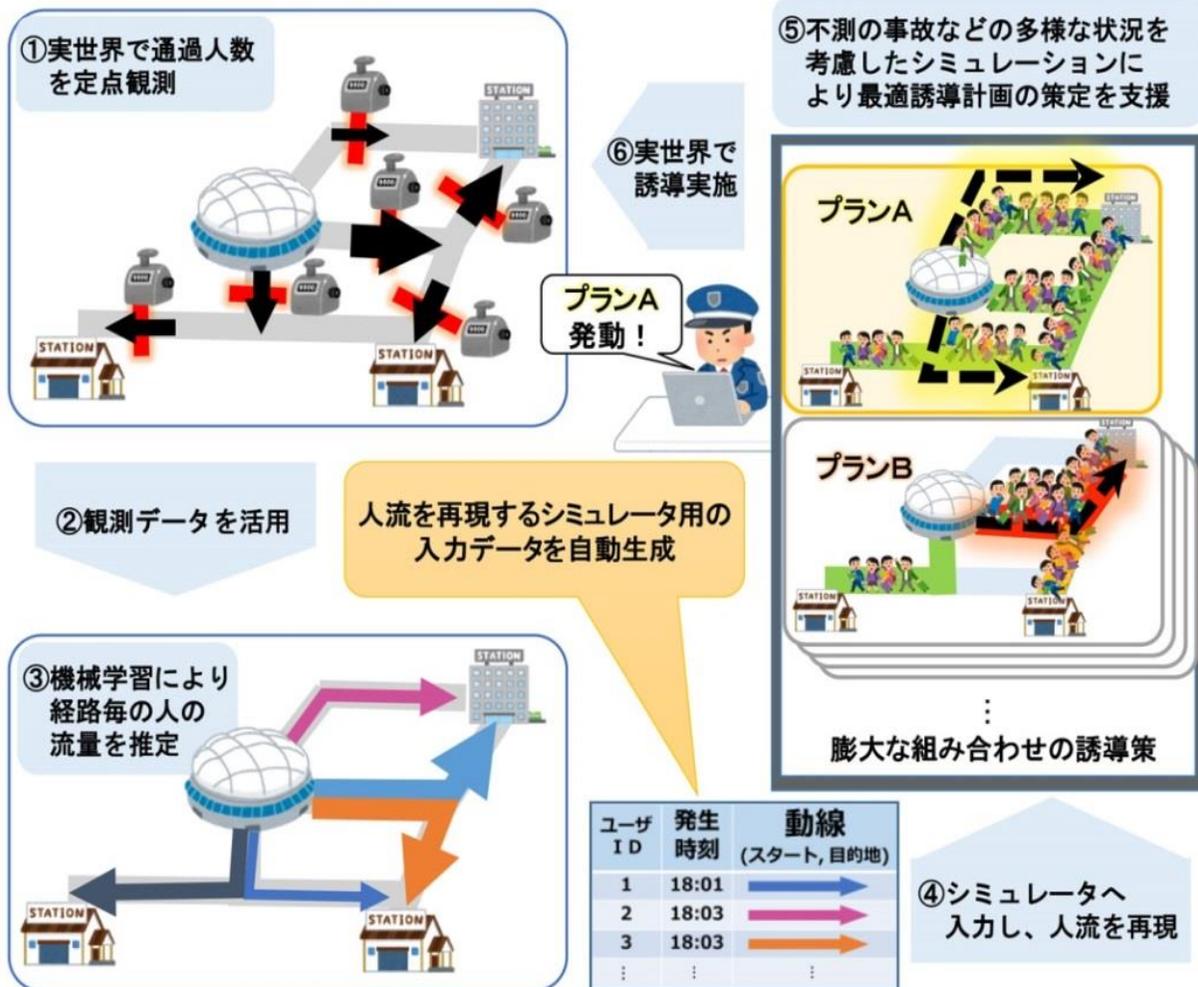


シミュレーションを行って…

- 事前にシミュレーションで人の流れを予測しておく事で、適切に集団を誘導し、課題を解決する
  - 非常灯、サインシステム、警備員の適切な配置、交通規制 etc

# NTTコミュニケーション科学基礎研究所 様

多くの人が集まるイベントで、参加の方々が安全に、しかも短時間で目的地に辿り着けるような誘導策を提示する技術です。具体的には、現地の人の流れを計測してそれをマルチエージェントシミュレーションに反映し、さらに機械学習なども活用して、効果的な誘導策を導き出します



日本電信電話株式会社  
NTTコミュニケーション科学基礎研究所  
協創情報研究部 知能創発環境研究グループ  
研究主任  
清水 仁 様

出典 NTTコミュニケーション科学基礎研究所 オープンハウス2018 研究展示3  
「人はどこから来て、どこへ行くのか? ~人流データ同化と学習型誘導~」  
<http://www.kecl.ntt.co.jp/openhouse/2018/exhibition/3/index.html>

# イベント終了後の混雑シミュレーション

- 概要

- 神宮球場からの観客が帰宅する
- 観客3万人が徒歩で帰宅
- 行先は「信濃町駅」、「国立競技場駅」、「千駄ヶ谷駅」、「外苑前駅」、「青山一丁目駅」のどれか



シミュレーション

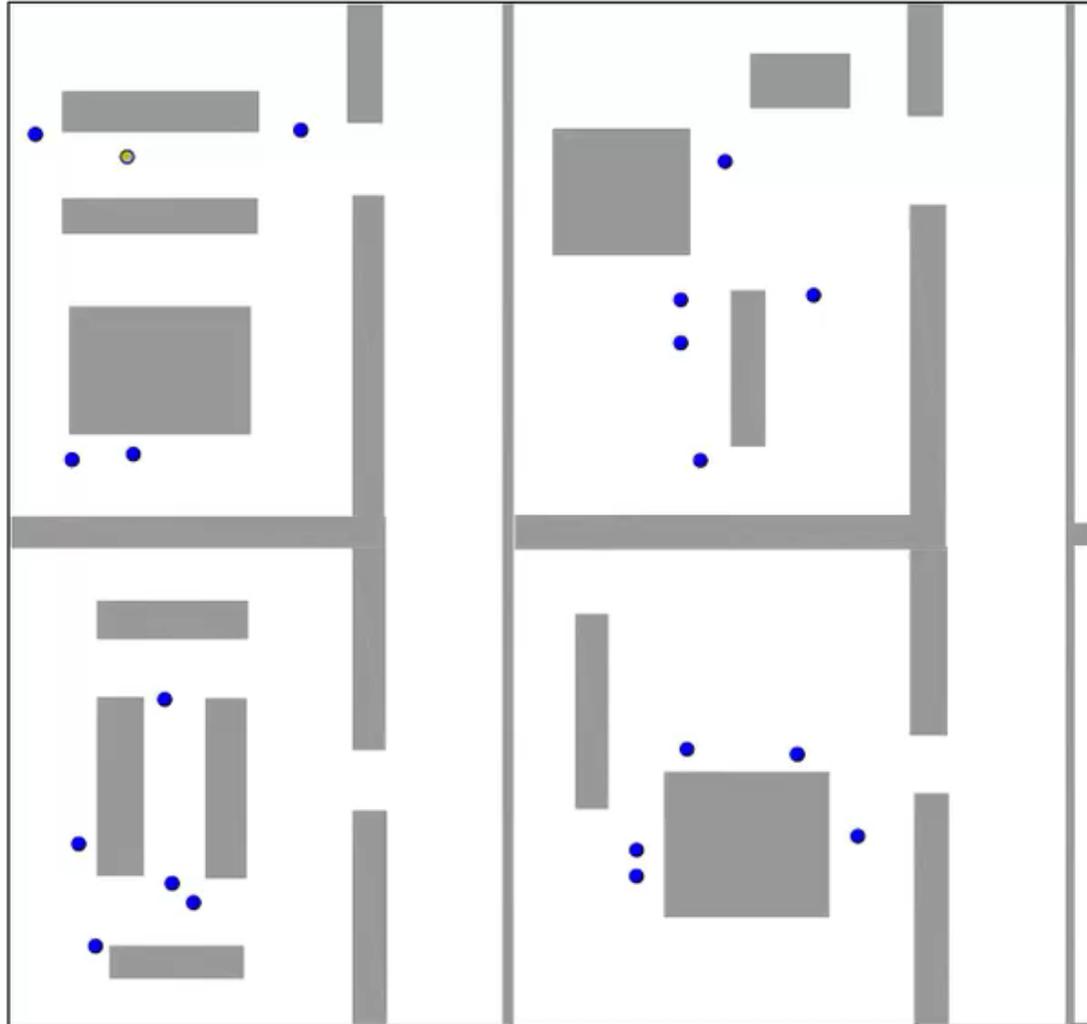
- 交通誘導

- 通行量の平準化, 交通規制
- 警備員の配置計画(人が多く通る道路に多く配置)。事故の発生を防ぐ
- サインシステムを適切に配置、人の流れをスムーズに



# 施設内での感染症の伝搬

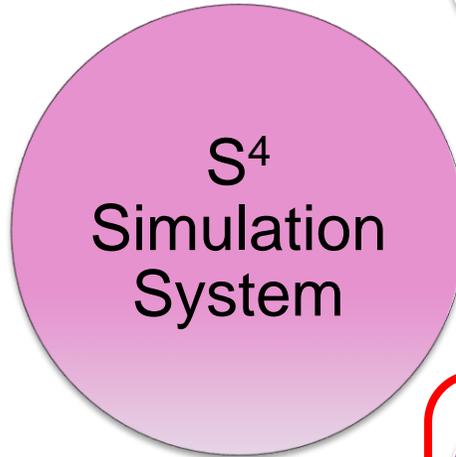
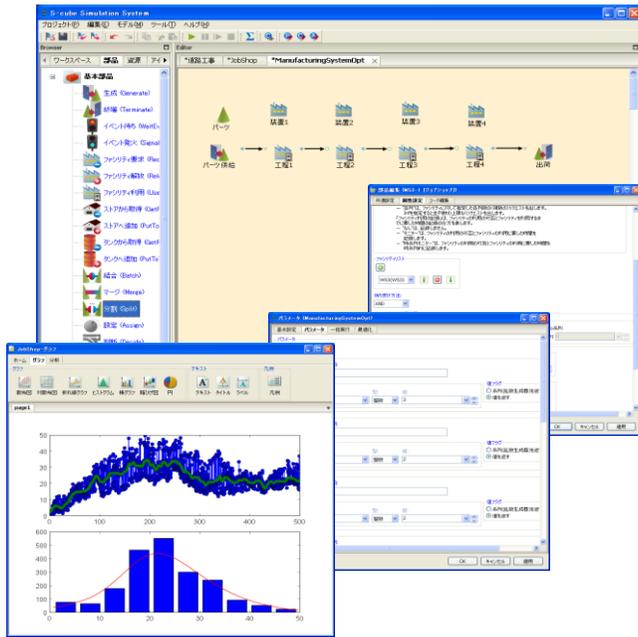
agent frame



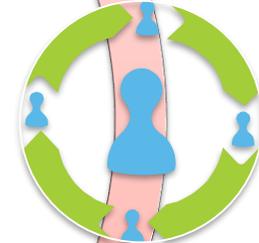
# 04

## 人流シミュレーション機能紹介

# S<sup>4</sup> Simulation Systemとは



離散イベント  
シミュレーション



連続シミュレーション



エージェントシ  
ミュレーション

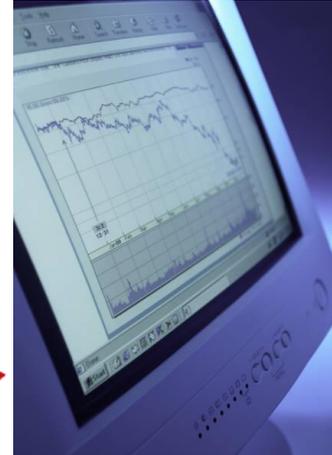
- NTTデータ数理システムが独自に開発
- 純国産商用シミュレータ
- GUIによる直観的なモデリング
- 柔軟なカスタマイズ性能
- ハイブリッドシミュレーション
- グラフ・統計分析
- 最適化・感度分析・実験計画

2010年のリリースから毎年バージョンアップを重ねています。  
**2023年3月にはVer6.3をリリース予定!**

# エージェントシミュレーション

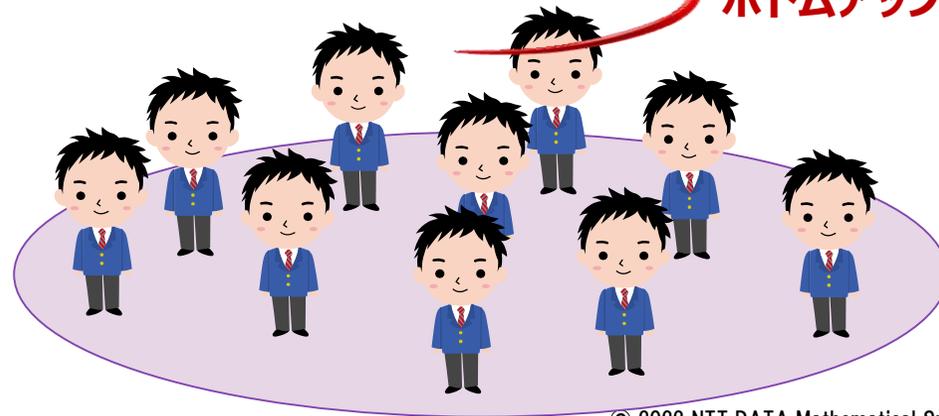
・一定のルールに従い自律的に行動するエージェントの振る舞いをシミュレートする事で、エージェント同士の相互作用から現われる、複雑な社会現象を分析・予測する手法

## エージェントシステム



### エージェント

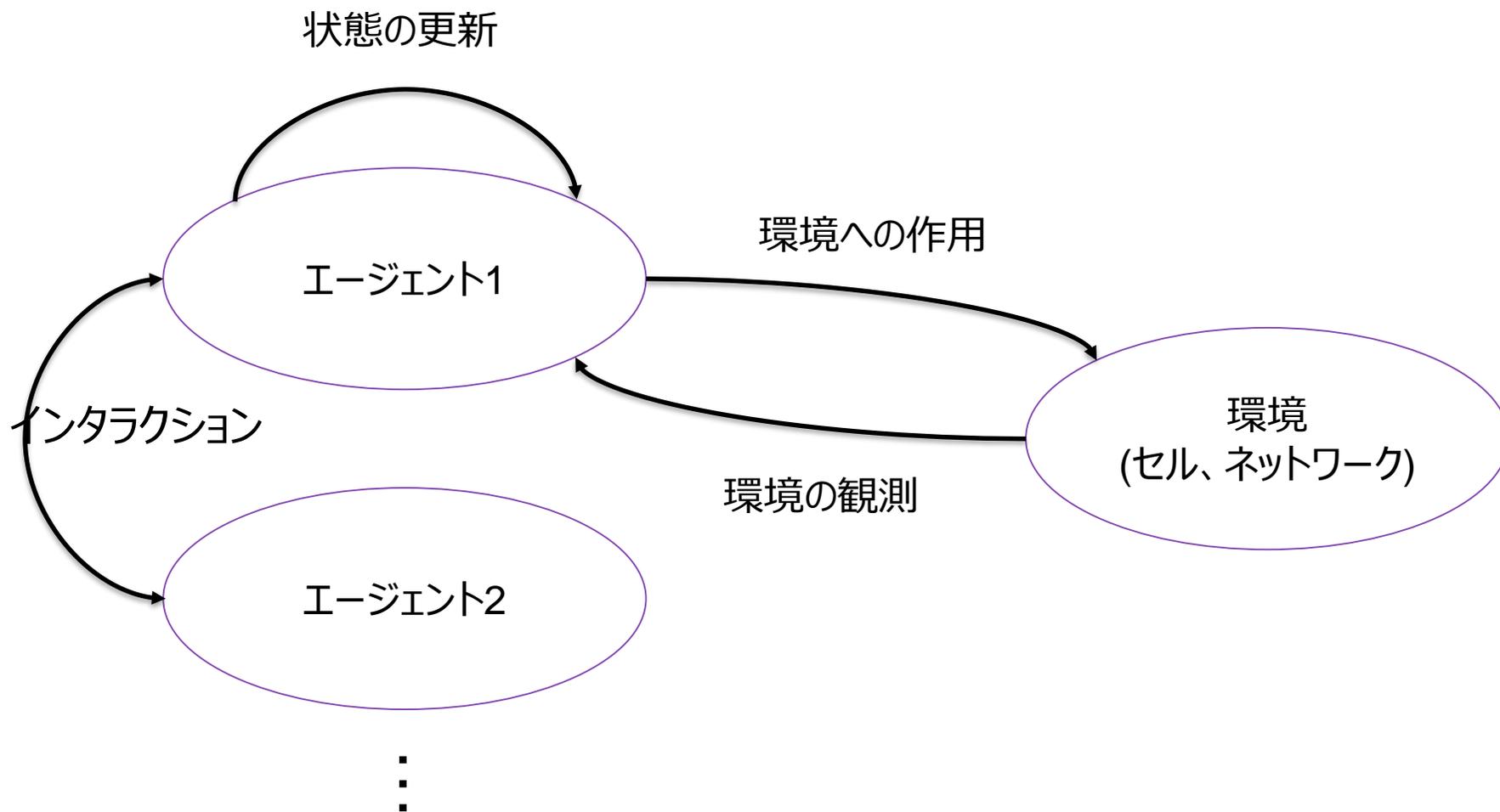
- ・一定のルールに従い自律的に行動
- ・エージェント同士が相互に作用し合い、状態を変えながら行動する事による現象をシミュレーション



### ボトムアップ<sup>o</sup>

- (例. 株式投資)
- エージェント
- 投資家
- 行動ルール
- 株の売買ルール
- エージェントシステム
- 日経平均株価

# エージェントシミュレーションの基本動作



# GUI(人流シミュレーション)

The screenshot displays the S-Quattro Simulation System interface. On the left, a 'Browser' pane lists various components like 'BarabasiAlbertグラフ' and '環境 (Environment)'. The main 'Editor' pane shows a simulation environment with a blue circle highlighting an agent icon. A '属性設定' (Property Settings) panel is open, showing fields for agent collection names and a '編集' (Edit) button. A separate window titled 'エージェント編集 (Evacuationエージェント [避難行動(エージェントシミュレーション)])' shows Python code for defining agent movement rules, including a 'distance' function and a 'step' method. A pink arrow points from the '編集' button in the settings panel to the code editor window.

**エージェント、環境部品**

**マウス操作により部品を配置**

**エージェントの行動ルールや相互作用をプログラム(python言語)**

**エージェントの設定画面**

**エージェントの処理に必要な実装をプログラミング**

# エージェントシミュレーションの待合室機能

エージェントが空いている座席に向かい、その座席で待機する待合室の機能を追加しました。

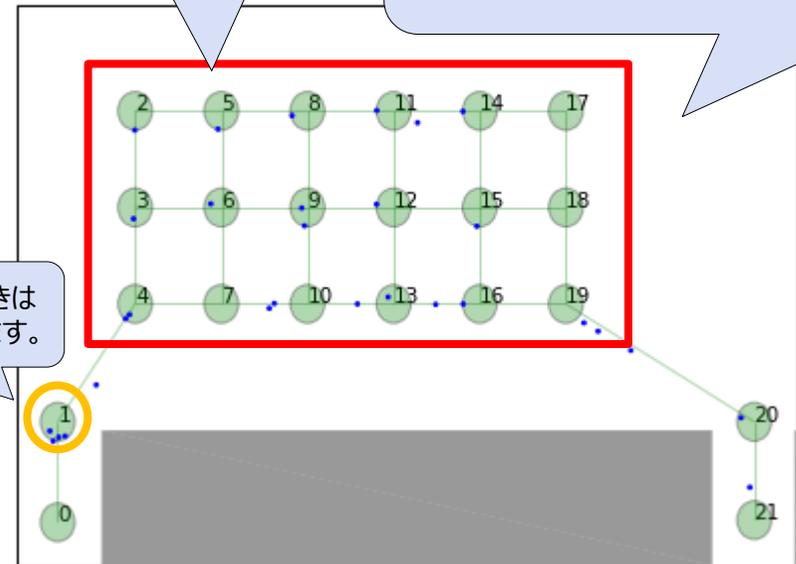
- 病院の待合室での患者の待機や、交通シミュレーションの際の駐車場の利用が簡単に再現できるようになりました。
- 座席に移動する際のオプションを複数用意することで柔軟に対応できるようにしました。

- 座席の選び方
  - ランダム
  - 一番近い座席
  - ユーザーがカスタマイズ
- 座席が空いていない時の動き
  - 入口で空くまで待機
  - 待つのをあきらめる
  - ユーザーがカスタマイズ

空いている座席がないときは待合室の入口で待機します。

経路地点 1 を入口、2~19 を座席とする待合室

経路地点 0 を出発したエージェントは空いている待合室の座席に向かい、そこで指定の秒数待機。その後経路地点 21 に向かいます。



# GUI(人流シミュレーション：地図エディタ)

The screenshot displays the S-Quattro Simulation System interface. On the left, a 'Browser' pane lists various components under '基本環境' (Basic Environment), including different graph types and environment settings. The main 'Editor' window shows a 2D map with 'SFMエージェント' (SFM Agent) and 'SFM地図' (SFM Map) icons. Overlaid on the right is the 'SFM Map Editor' window, which includes a '属性' (Properties) panel with checkboxes for '地図アイテム', 'エッジ', '経路地点', and '移動可能領域'. Below this is a '編集モード' (Edit Mode) panel with buttons for '領域選択', '矩形作成', '多角形作成', and '閉領域作成'. The main map area shows a grid-based layout with black dots representing nodes and lines representing edges, with some areas highlighted in green and blue. A '設定画面' (Settings Screen) callout points to the '地図編集' (Map Edit) option in the '環境の...' (Environment...) menu. Another callout points to the map area, describing the layout of facilities.

マウス操作により部品を配置

施設のレイアウトを地図エディタで作成(障害物・空間・経路ネットワーク)

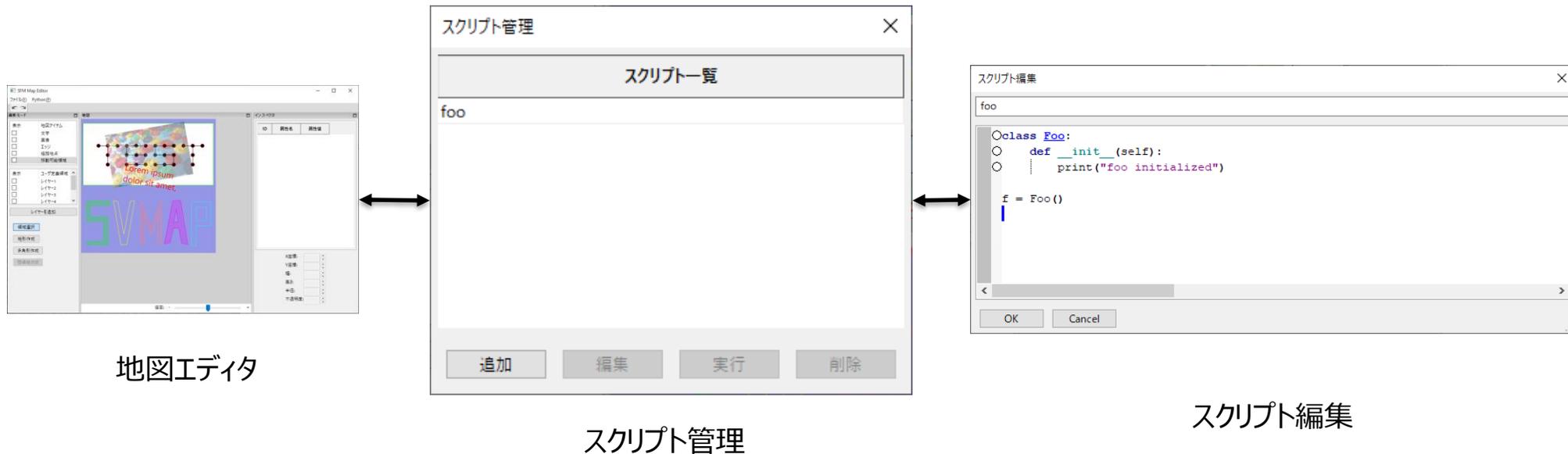
設定画面

エージェント、環境部品

pptを操作する感覚で作図

# 地図エディタ(2023年3月末リリース新機能：スクリプト機能)

- Pythonスクリプトを作成・保持することで地図ごとに定型文を使えるようにする機能です。地図エディタのAPIを呼び出すことができます。
- 「まとまった量のコード」を実行できます。例えばまとまった数の座標を指定して経路地点等の地図アイテムを配置するスクリプトが容易に共有できたり、同じ配置を繰り返せるため地図の描き直しが1ステップで行えるようになります。



# 環境構築機能

地図エディタ機能  
(レイアウト作成支援)

CADデータ読み込み

道路ネットワークデータ  
読み込み

シミュレーション

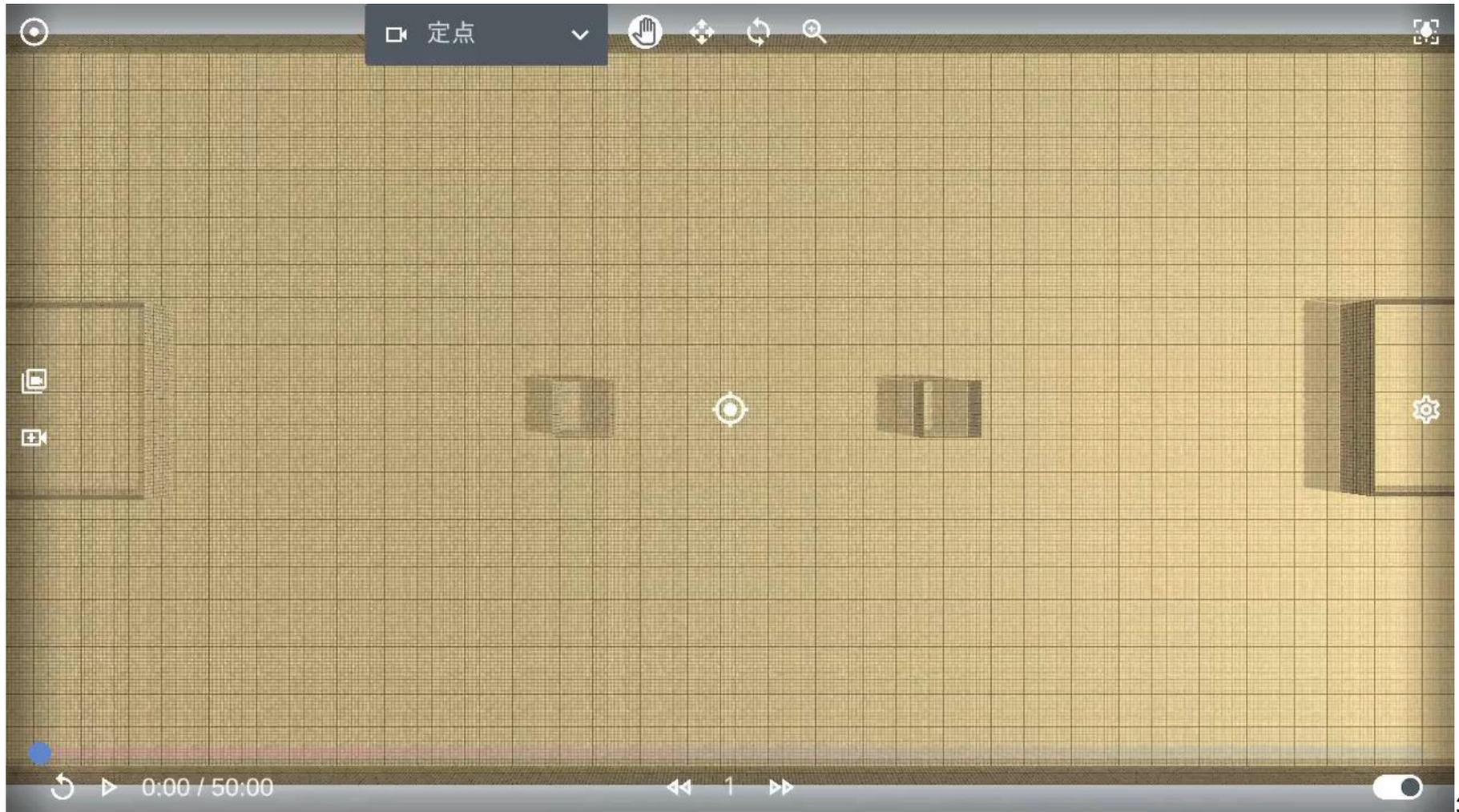
(.osm)

(GeoJSON)

人流シミュレーション  
の環境構築を支援

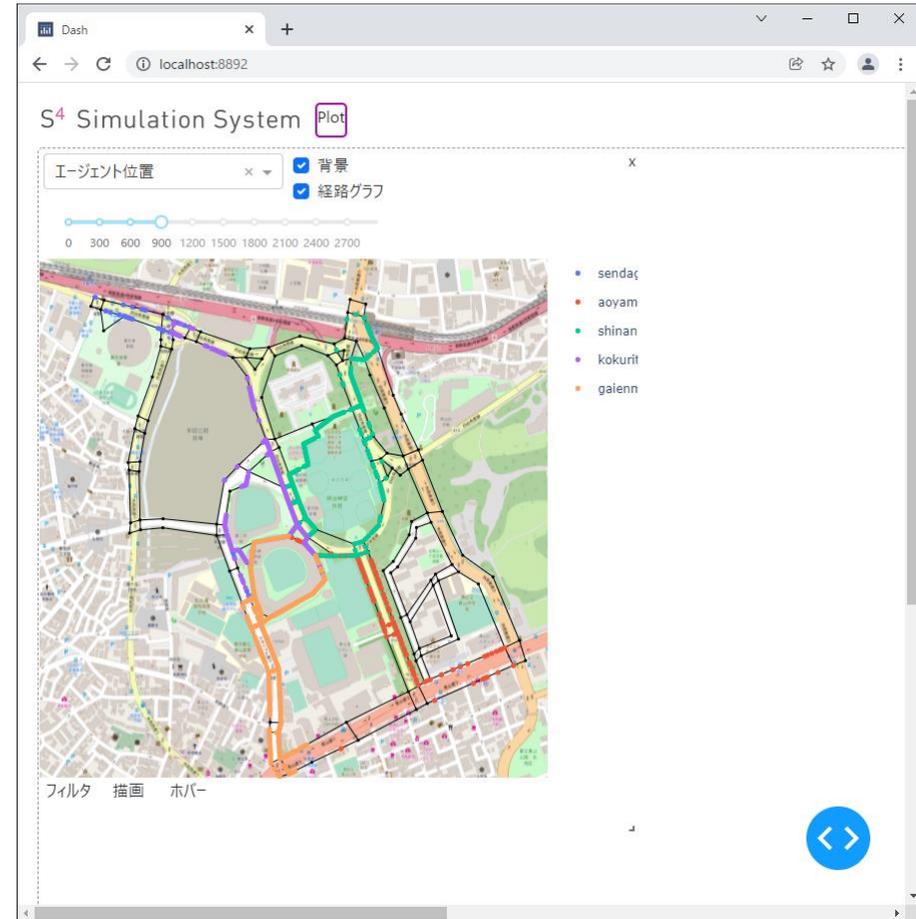
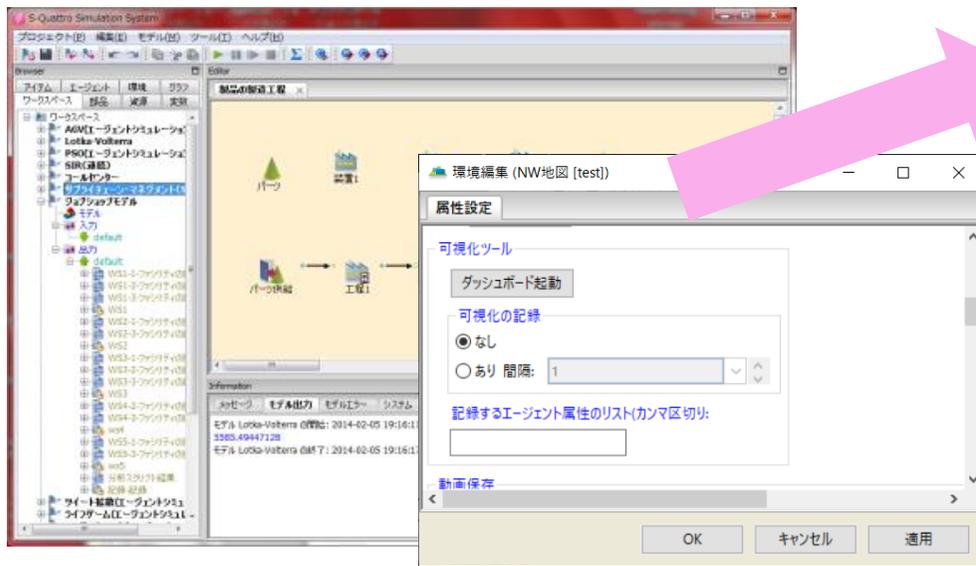
# 3Dアニメーション

- 人流シミュレーション結果を3Dアニメーションで描写する機能
- シミュレーション空間の状況やエージェントの種類などを、さまざまなバリエーションで表示
- シミュレーション結果をよりわかりやすく理解



# 人流シミュレーション結果分析機能

- 人流シミュレーションの結果をブラウザ上で分析することができます
- S4のGUI上から立ち上げが可能



# 人流シミュレーション結果分析機能

## 分析機能紹介

### ① サマリ機能

- エージェント位置
- 遷移行列
- 人流可視化
- ヒートマップ表示

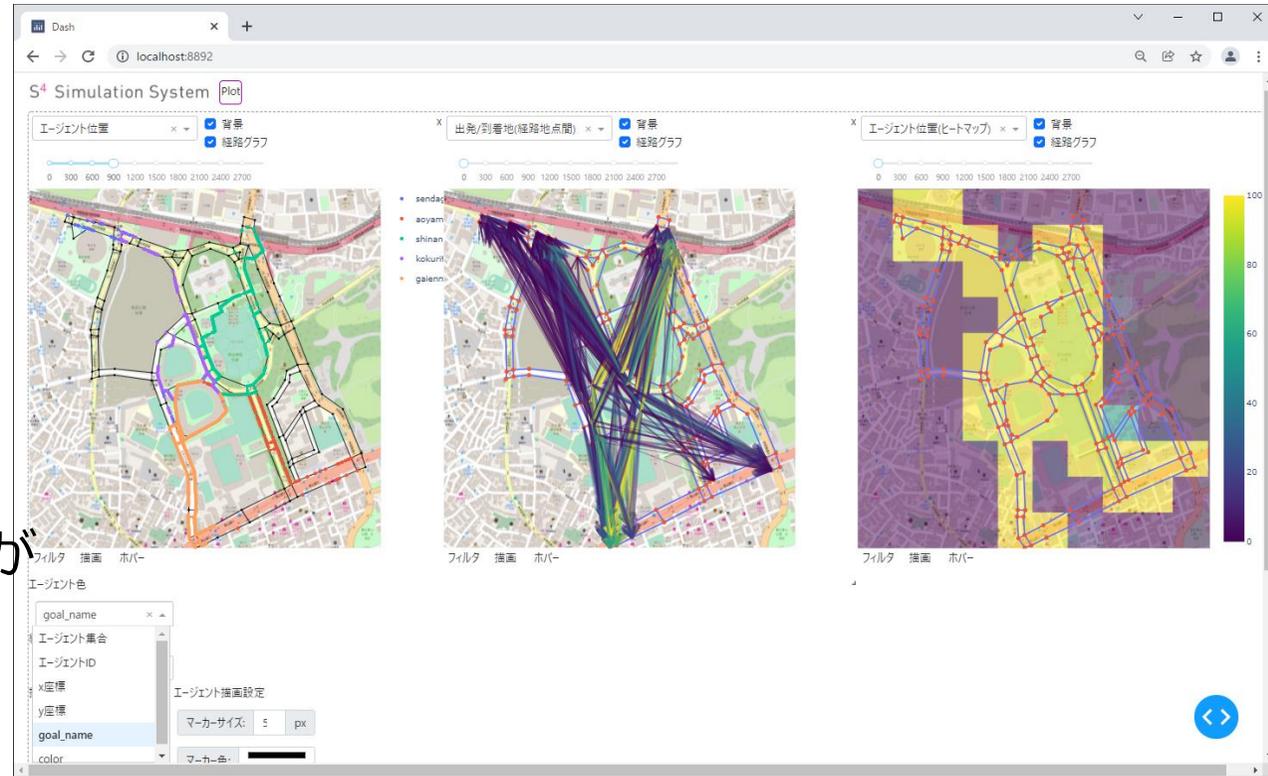
### ② GUIで簡単編集

- フィルタ、描画設定などが  
できます

### ③ ダッシュボードの作成

- レイアウトも自由に作成  
でき、そのままレポートとし  
て使えます（数式、テキス  
ト要素も追加予定）

## 操作の様子



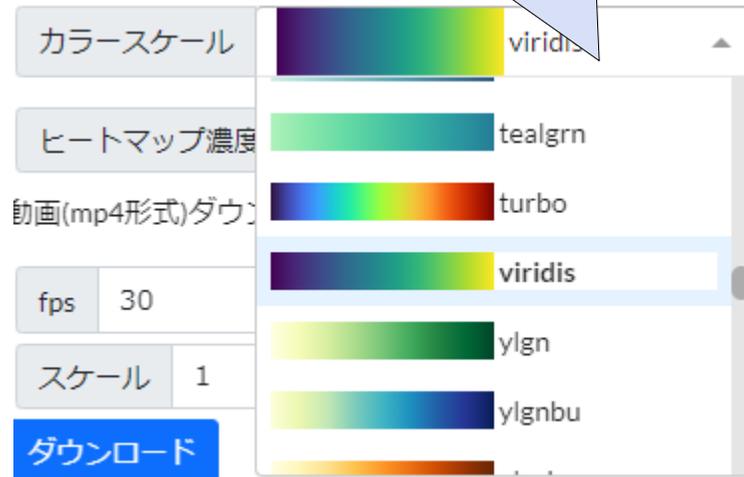
※ 画像は開発途中のものです

# 人流シミュレーション結果分析機能(2023年3月末リリース新機能)

エージェントシミュレーションの結果をブラウザ上で見ることが  
できるダッシュボード機能に以下の機能を追加しました。

- シミュレーションのアニメーション描画機能
  - エージェント位置 / ヒートマップ表示
  - 作成したアニメーションmp4形式のダウンロードに対応
- カラースケールの選択時の表示をより分かりやすくしました。

カラースケールの色を表示することでより直感的に操作しやすくなりました。



S4 Simulation System

エージェント位置アニメーション

背景

経路グラフ

agent\_zokusei

0

1

2

3

4

ブラウザ上でアニメーションを再生可能

ダウンロード

作成したアニメーションをmp4形式でダウンロード可能

※画像は開発中のものです。

# 05

## S<sup>4</sup> Simulation System と強化学習を活用した最新事例の 紹介

# 巡回セールスマン問題

## 【組合せ最適化】

組合せ最適化問題とは、多くの選択肢の中から、与えられた制約の下で、最も良い解（問題によって、距離だったり時間だったりする）を求める問題です。

## 【巡回セールスマン問題】

巡回セールスマン問題とは、訪問先とそれらの間の移動距離（もしくは時間）が与えられた時に、最も短い移動距離（もしくは時間）で、すべての訪問先を周るルートを求める問題です。

巡回セールスマン問題は訪問先の選択肢の中で、最短距離（時間）になるルート（訪問順序）を求める問題は、訪問先の並べ替え問題となります。

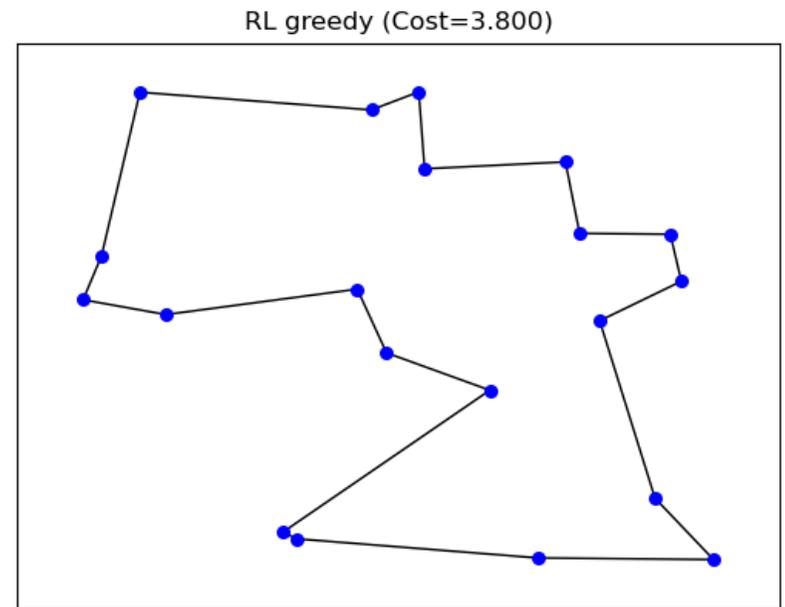


図 訪問先(20か所)を周る例

# 強化学習と組合せ最適化

## 【機械学習と組合せ最適化】

巡回セールスマン問題を機械学習を用いて行う方法として、素朴に思いつく方法としては、与えられた訪問先と距離の情報を入力とし、訪問順序を出力とする写像（関数）を学習する方法があります。実際、Pointer Network などを用いて、これを行う方法も提案されています。

## 【強化学習と組合せ最適化】

解を出力するモデルを構築する場合、教師あり学習では正解を用意する必要があります。汎化性を持たせたモデルを構築するためには、非常に多くの正解値を用意する必要があります。また、学習されるモデルが正解値の品質に左右されてしまうという問題があります。

そこで、得られた訪問順の距離を報酬として強化学習（方策勾配法）を用いて解く方法が提案されています。この場合には教師値は不要で、報酬を直接、最小化します。

## 【その他の方法】

組合せ最適化を機械学習を用いて解くその他の方法としては、以下があります。

### 1. 最適化ソルバの（ハイパー）パラメータを学習

ソルバをコントロールするパラメータを問題により適切に調整するようなモデルを学習します

### 2. 最適化ソルバの逐一の判断を強化学習により学習

ソルバの内部での判断・方針（例えば、近傍の探索方針や分枝限定法で利用する変数の選択等）を学習します。

# 問題設定

## 【解の生成モデル】

各訪問先の座標を入力とし、transformer のような NN でエンコードし、訪問先を一つずつ逐次的に選択する形式でデコードすることで解を生成します。

## 【強化学習アルゴリズム】

方策勾配法により学習します。具体的には、Critic Network は用いない REINFORCE アルゴリズムにより学習します。

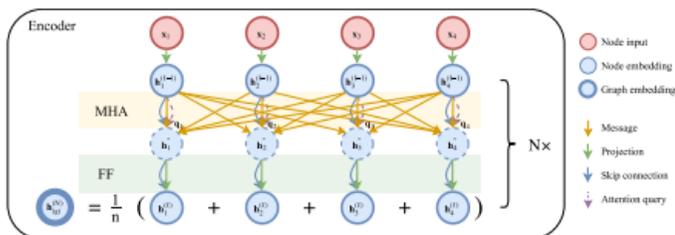


Figure 1: Attention based encoder.

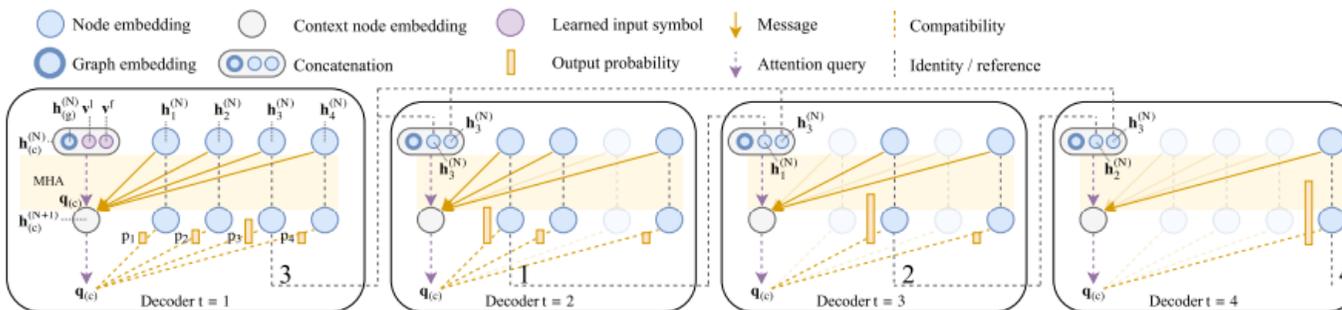


Figure 2: Attention based decoder

Ref) ATTENTION, LEARN TO SOLVE ROUTING PROBLEMS!, ICLR 2019

# 学習結果

## 【学習条件】

- 訪問先数 = 20
- 学習エポック数 = 4 or 100
- 1 エポック = ランダムに生成した128万個の巡回セールスマン問題

## 【比較手法】

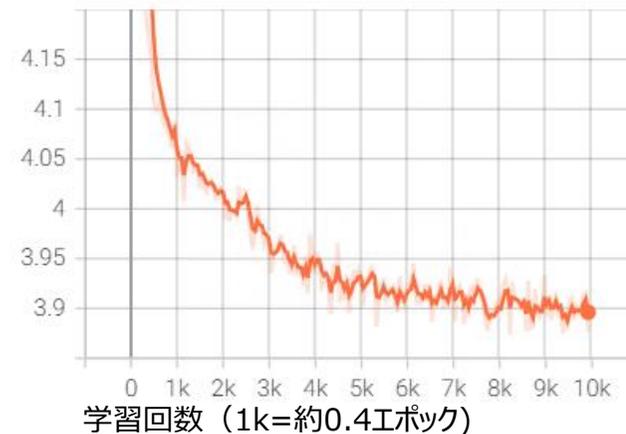
(farthest | nearest | random) insertion

## 【結果】

20 訪問先の巡回セールスマン問題をランダムに10000インスタンス生成して、各手法でのコストと計算時間を評価しました※。

手法	学習エポック数	探索方法	Avg. cost (2x stdev)	計算時間(sec.)
farthest-insertion	-	-	3.93 (0.00679)	0.0019
nearest-insertion	-	-	4.33 (0.00770)	0.0019
random-insertion	-	-	4.00 (0.00721)	0.0014
RL	4	greedy	3.89 (0.00645)	
RL	4	beam search (width=4)	3.87 (0.00629)	
RL	4	beam search (width=8)	3.86 (0.00624)	
RL	100	greedy	3.85 (0.00618)	0.0071
RL	100	beam search (width=4)	3.84 (0.00613)	0.017
RL	100	beam search (width=8)	3.84 (0.00611)	0.021
Nuorium Optimizer	-	-	3.84 (0.00610)	16.26

avg\_cost



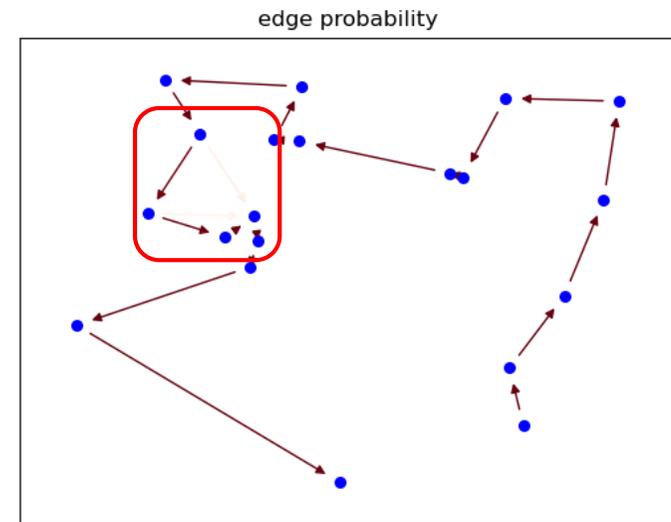
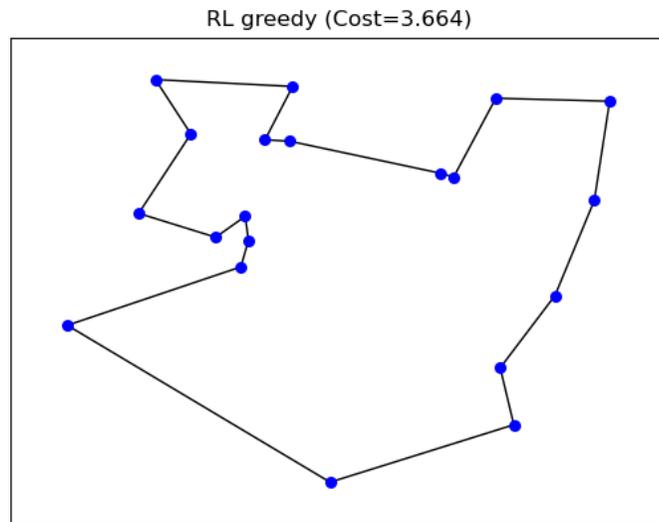
※実験には、下記URLにあるプログラム、および、100エポック学習済みの pretrained モデルを使用。  
<https://github.com/wouterkool/attention-learn-to-route>

# 学習結果

## 【得られた解の様子】

エポック100 の pretrained モデルでのgreedy選択時の解とエッジ選択確率とを可視化した様子が以下です。学習・評価訪問数ともに訪問先は 20 です。

多くの場合でエッジ選択確率はほぼ1となりますが、図の左上（赤枠）のように複数のエッジが候補にあがっていることもあります。なお、選択確率0.01未満のエッジは描画していません。



# 06

最後に

# S<sup>4</sup> Simulation System 体験セミナー（オンライン）

## 毎月無料の体験セミナーを開催中

- 待ち行列やシステムダイナミクス、エージェントシミュレーションとそれらのハイブリッド等、様々なシミュレーションモデルの入門的なところから、その適用事例をわかりやすく解説
- S<sup>4</sup> Simulation System の操作を通して、モデル化や実際の分析事例が体験できます。

**お申込みは当社Webページから！**

途中入退室自由

## 当日の内容

- 13 : 30 開始 シミュレーション入門（25分）
- 13 : 55 ご活用事例紹介(コールセンター、交通・航空、人流、SCM、アカデミック事例 など)（15分）
- 14 : 10 S4 Simulation System 概要紹介(10分)
- 14 : 20 操作演習① S4 Simulation Systemを使用したモデル化（30分）
- 15 : 10 休憩（10分）
- 15 : 20 操作演習②事例、分析方法紹介（3事例、各20分）
- 16 : 20 演習終了、ライセンス形態紹介（10分）
- 16 : 30 個別相談会

# エージェントシミュレーション特別体験セミナー(オンライン)

## エージェントシミュレーションに特化した体験セミナーを開催

- 人流シミュレーションをはじめとした、エージェントシミュレーションを S<sup>4</sup> Simulation System の操作を通して、モデル化や実際の分析事例が体験できます。

## 当日の内容

1. エージェントシミュレーション入門
  - エージェントシミュレーションとは
2. 実現場でのエージェントシミュレーションの利用事例
3. S<sup>4</sup> Simulation System の紹介
  - エージェントシミュレーション機能のご紹介
4. エージェントシミュレーション体験
  - エージェントモデルの構築を体験
  - エージェントシミュレーションによる分析事例を体験

**お申込みは当社Webページから！**

途中入退室自由

※ 以下からピックアップして実施します

森林火災シミュレーション、シェリングの分居モデル、ツイッターの伝播シミュレーション  
ランダムウォークシミュレーション、施設内人流シミュレーション

# お問い合わせ

株式会社 NTTデータ 数理システム

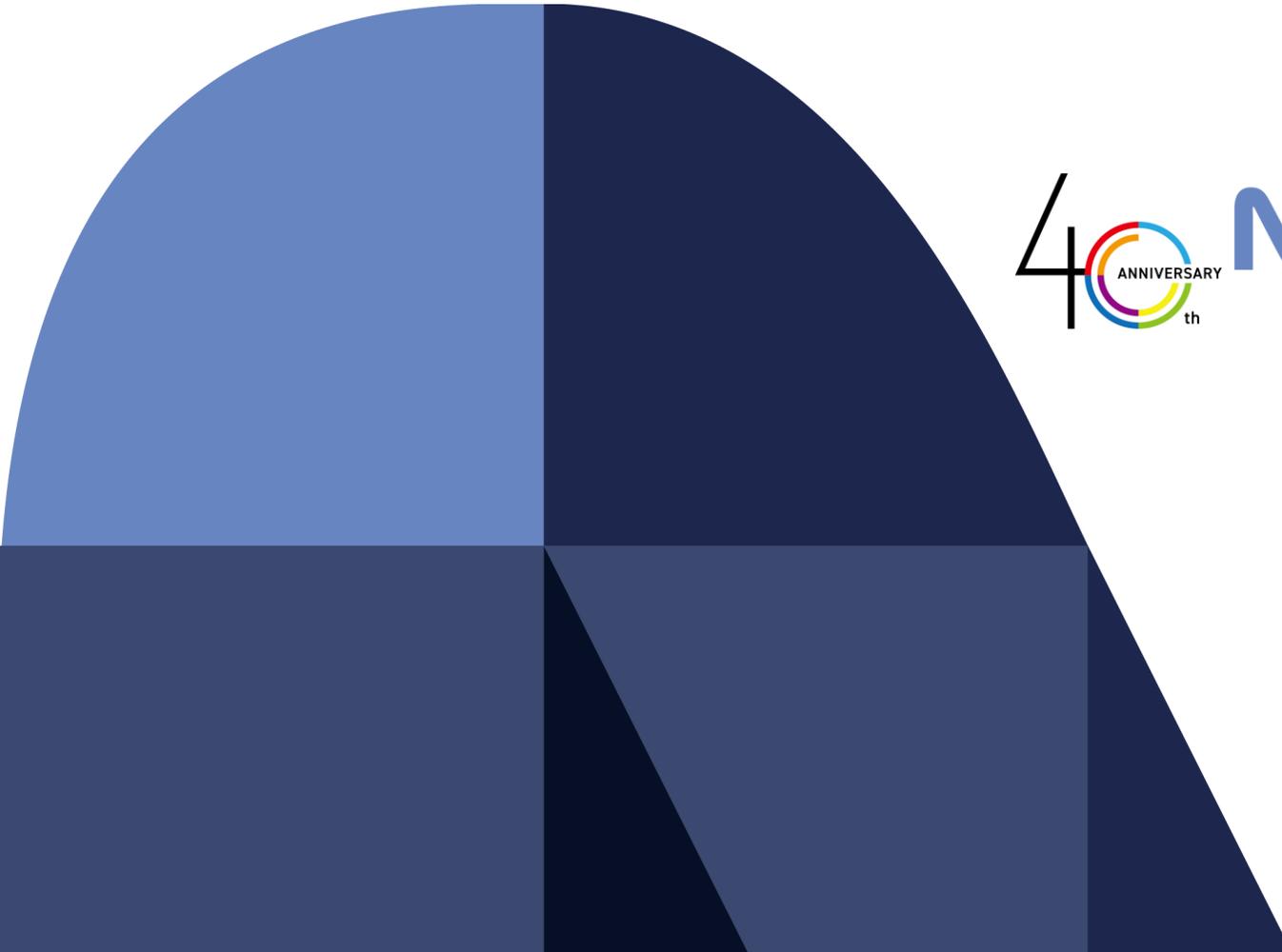
営業部 **S4**担当

TEL : 03 - 3358 - 6681

【URL】 <https://www.msi.co.jp/s4/>

【E-mail】 [s4-info@ml.msi.co.jp](mailto:s4-info@ml.msi.co.jp)

**各種カスタマイズ・コンサルティングも  
お受けしております**



**NTT DATA**

Trusted Global Innovator