



S<sup>4</sup> Simulation System

**NTT DATA**

NTT DATA Mathematical Systems Inc.

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

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

2022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】

人流シミュレーション結果分析機能

その他機能(外部編集機能, Pythonモジュールの取り込み機能)



# 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



シミュレーションゲーム



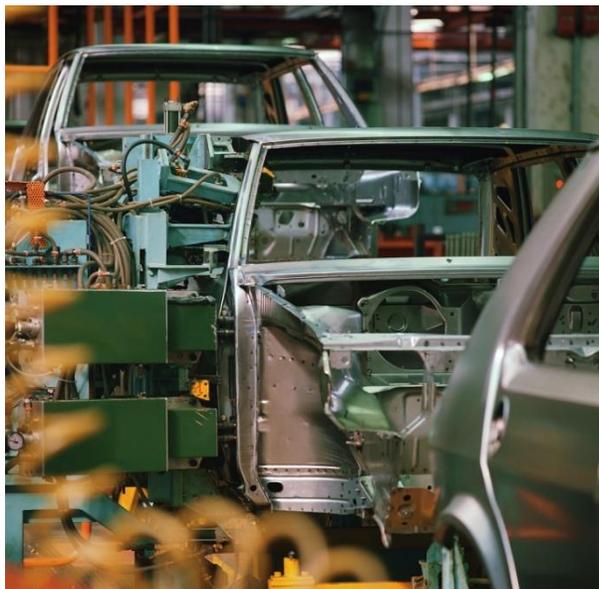
地球シミュレーター



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

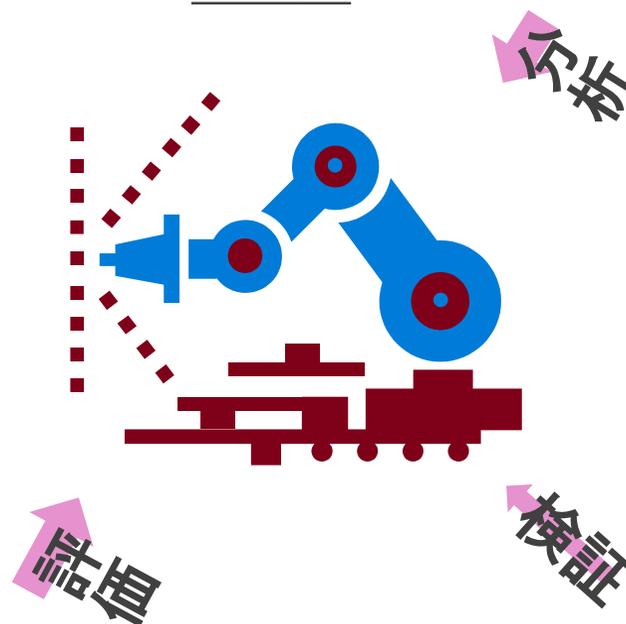
## 現実の複雑なシステム



目的により  
特徴を抽出し  
簡略化

モデル化

## モデル



- **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 etc



- **施策の定量的な評価やリスクを検証したい**

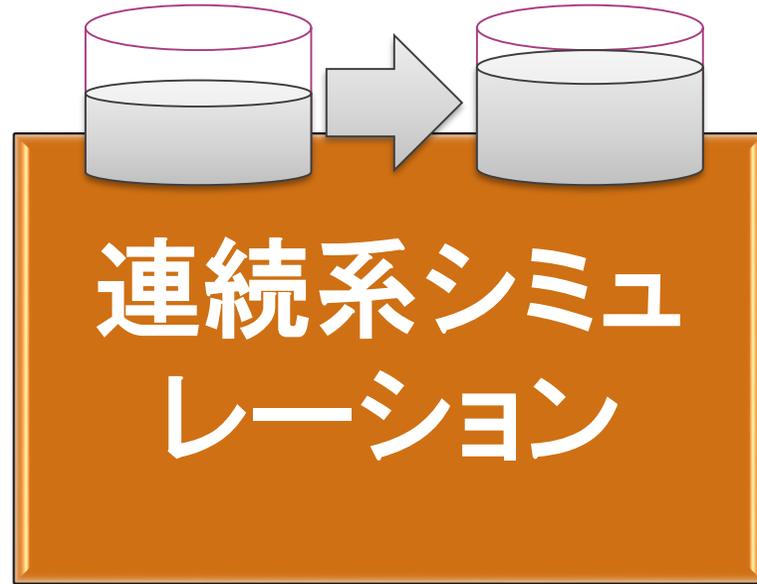
設備投資効果  
計画したスケジュールのリスクの検証  
複数のプランからどれを採用するか？  
人員配置、シフト計画  
建設工程、修繕計画  
在庫管理  
生産計画  
警備計画 etc



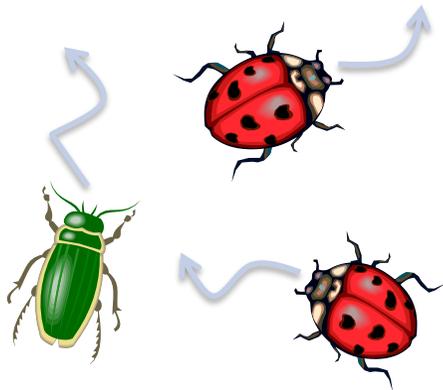
# S4が対象としているシミュレーションの種類



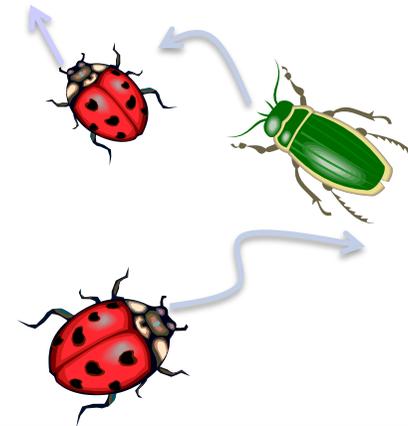
離散イベントシ  
ミュレーション



連続系シミュ  
レーション



エージェントシ  
ミュレーション



# 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  
河川の汚染物質濃度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  
- 事故発生率検討

## • 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  
汎用シミュレータ  
S<sup>4</sup> Simulation System を開発

# 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

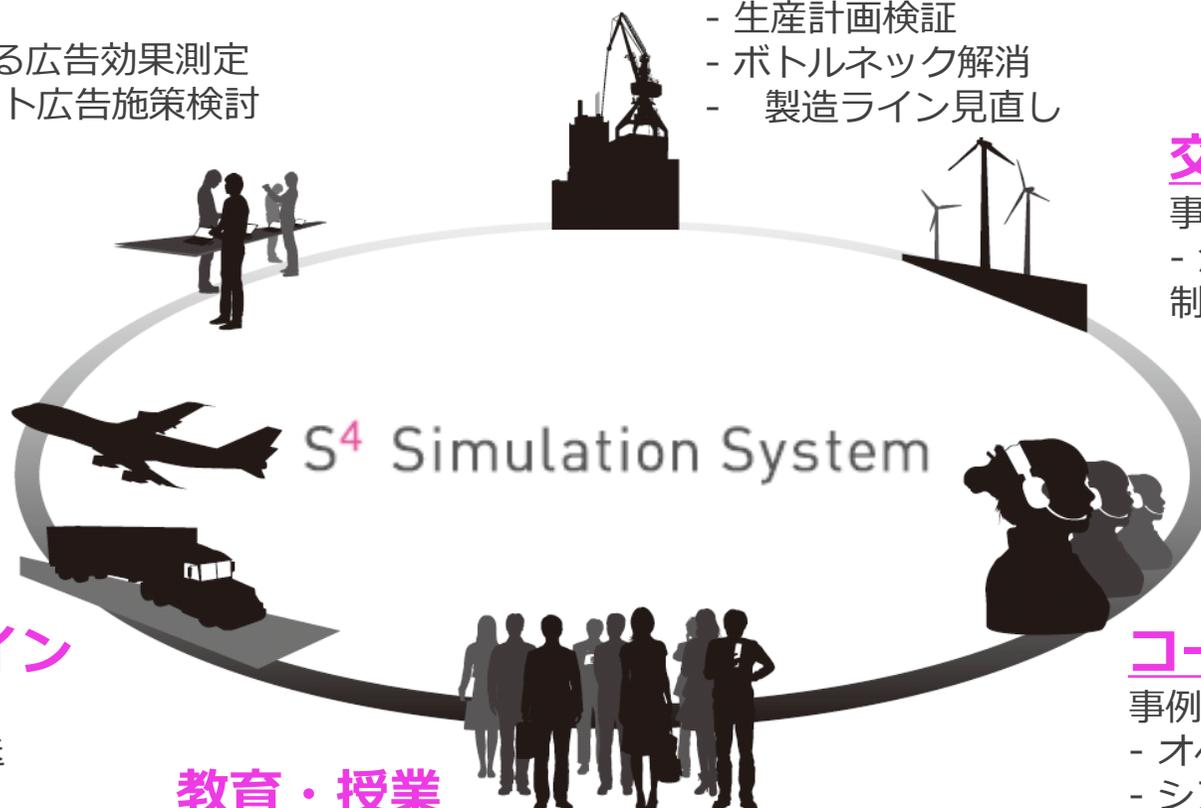
事例

- 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

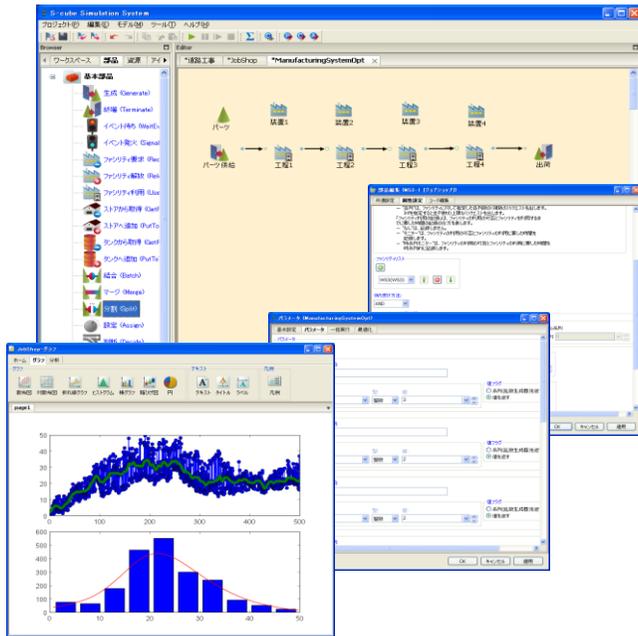
## コールセンター

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。

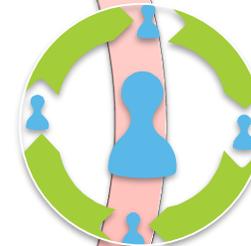
# S<sup>4</sup> Simulation Systemとは



S<sup>4</sup>  
Simulation  
System



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。

**2022年3月にはVer6.2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 and actions such as '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 for '製品の製造工程' (Product Manufacturing Process) with elements like 'パーツ' (Parts), '装置1' (Device 1), and '装置2' (Device 2). A '部品編集 (部品2 [製品の製造工程])' dialog box is open on the right, showing settings for 'ファンリテイスト' (Facility List) and '待ち受け方法' (Waiting Method).

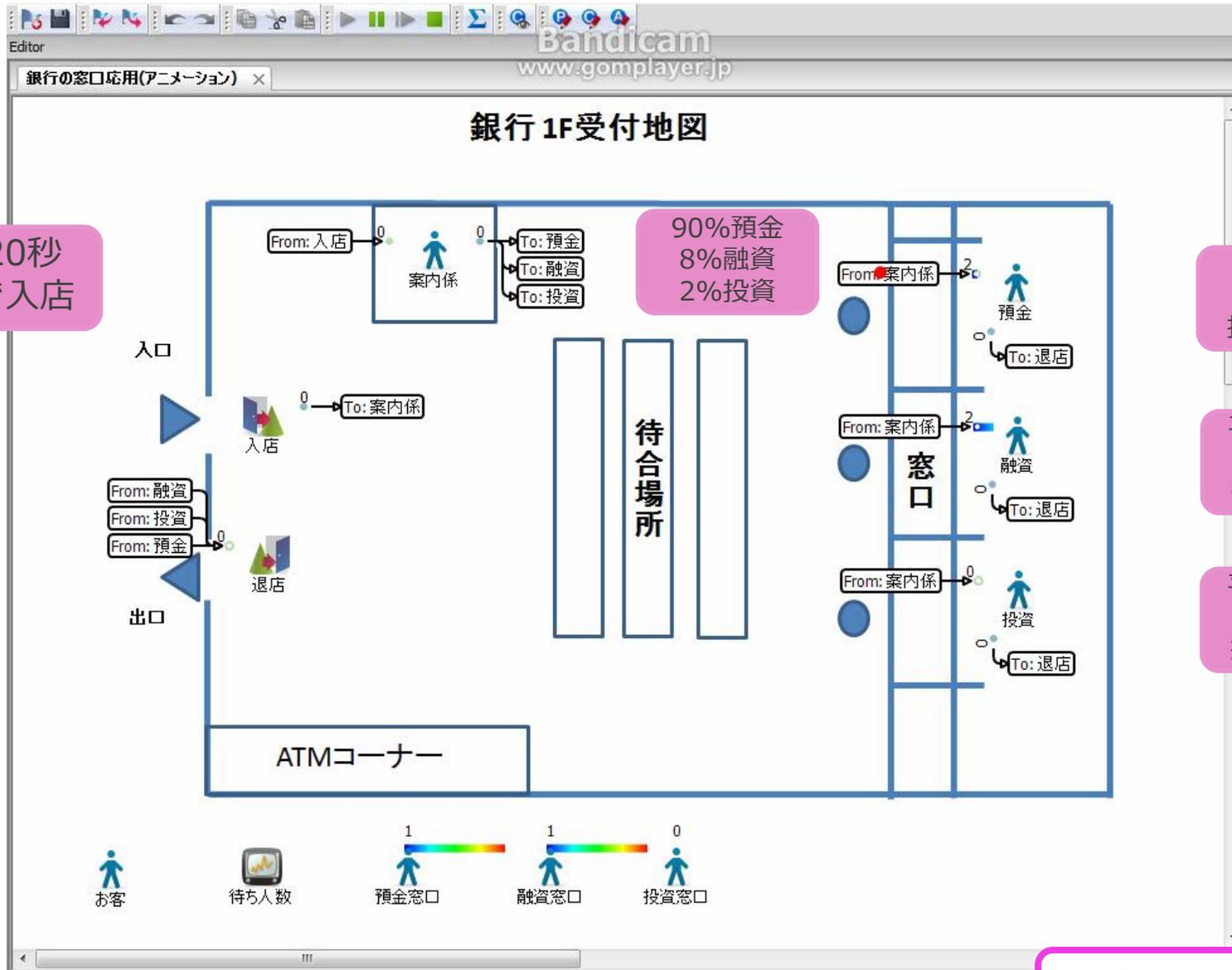
**マウス操作により部品を配置・連結してモデル作成**

**部品のパラメータ設定画面**

銀行の...  
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)  
...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。



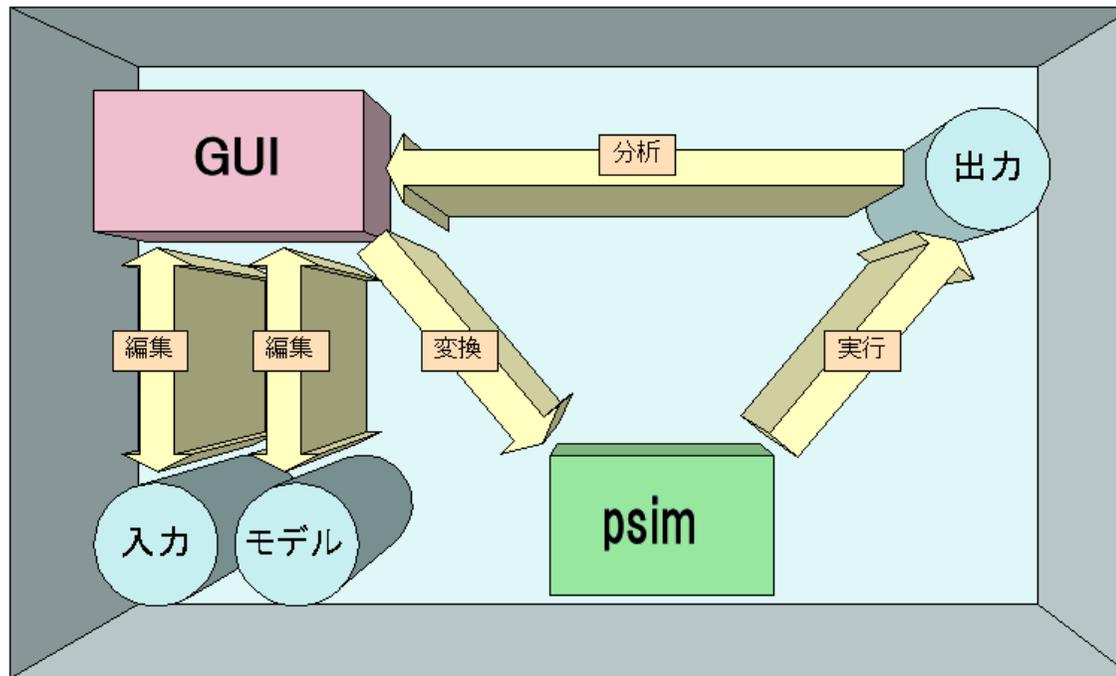
平均20秒  
間隔で入店

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？



## GUI

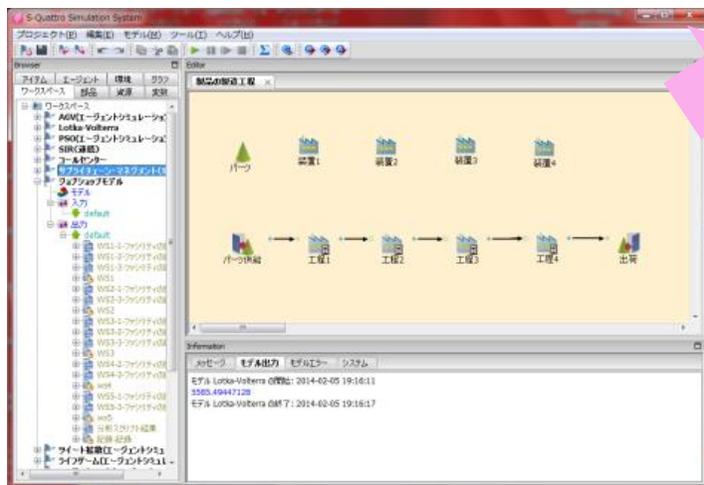
- ☆ wxPythonを用いて開発
- ☆ 入出力データの管理
- ☆ モデルの管理・編集・実行

## psim

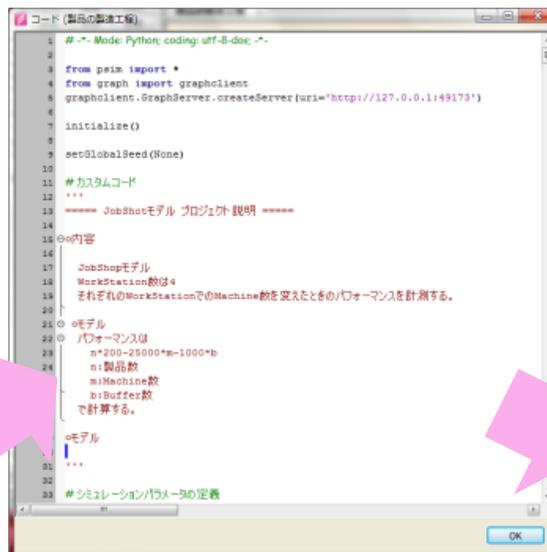
- ☆ Python言語上で動作するプロセス指向のシミュレーション記述言語
- ☆ イベント処理エンジン
- ☆ 乱数生成や分布推定などの分析機能も併せ持つ Pythonライブラリ集

**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。**

# 新機能：ソースコードの外部編集機能

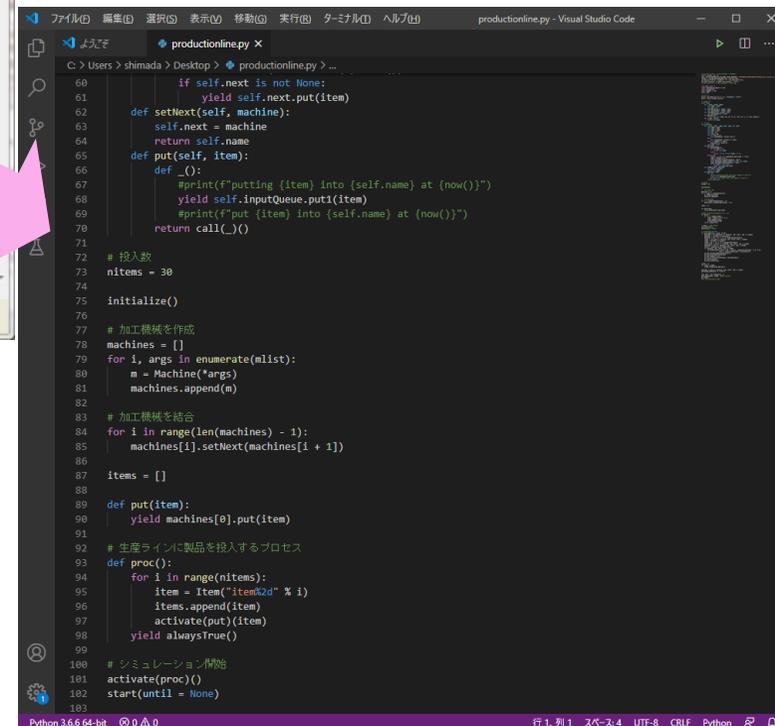


1. GUI でモデル作成



2. GUIからソースコードを自動生成

4. GUIに再取り込み、GUI上でモデル編集



3. VSCode等でソースコードの編集、実行、デバッグ

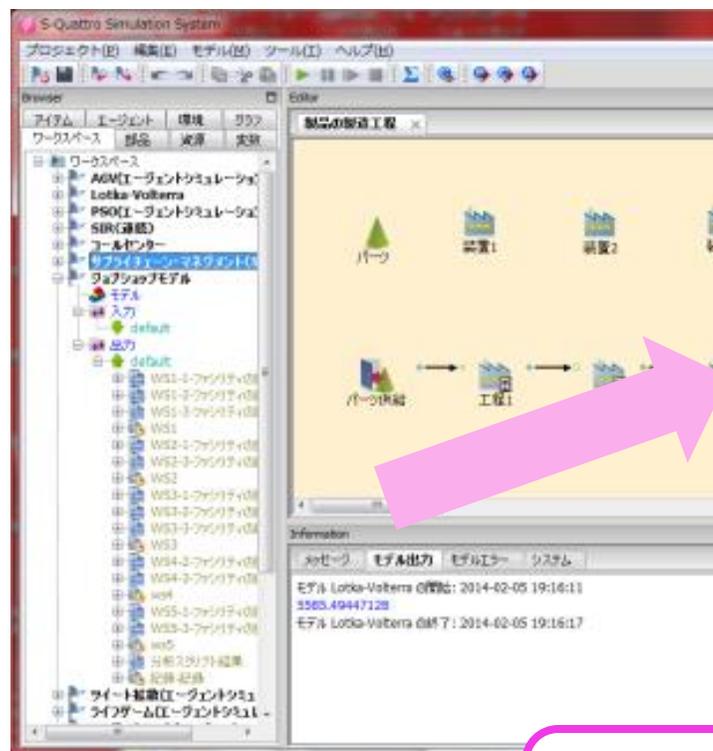
**GUIと外部開発環境を組み合わせ  
効率よく開発が可能**

# 新機能：外部モジュールの取り込み機能

Pythonの外部モジュールをS<sup>4</sup>で使いたい

- Cython
- Scikit-learn
- TensorFlow
- PyTorch

...



Python環境 (000)

Python環境拡張

追加pipオプション

Package	Original	Current		
appdirs	1.4.3	1.4.3	<input type="button" value="更新"/>	<input type="button" value="削除"/>
asgiref	3.2.5	3.2.5	<input type="button" value="更新"/>	<input type="button" value="削除"/>
coverage	5.0.3	5.0.3	<input type="button" value="更新"/>	<input type="button" value="削除"/>
cycler	0.10.0	0.10.0	<input type="button" value="更新"/>	<input type="button" value="削除"/>
Cython	0.29.15	0.29.15	<input type="button" value="更新"/>	<input type="button" value="削除"/>
decorator	4.4.2	4.4.2	<input type="button" value="更新"/>	<input type="button" value="削除"/>

six 1.14.0  
sqlparse 0.3.1  
virtualenv 20.0.10  
wheel 0.34.2  
wxPython 4.0.7.post2

GUIで外部モジュールをダウンロード、インストール、バージョン管理が可能

# 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

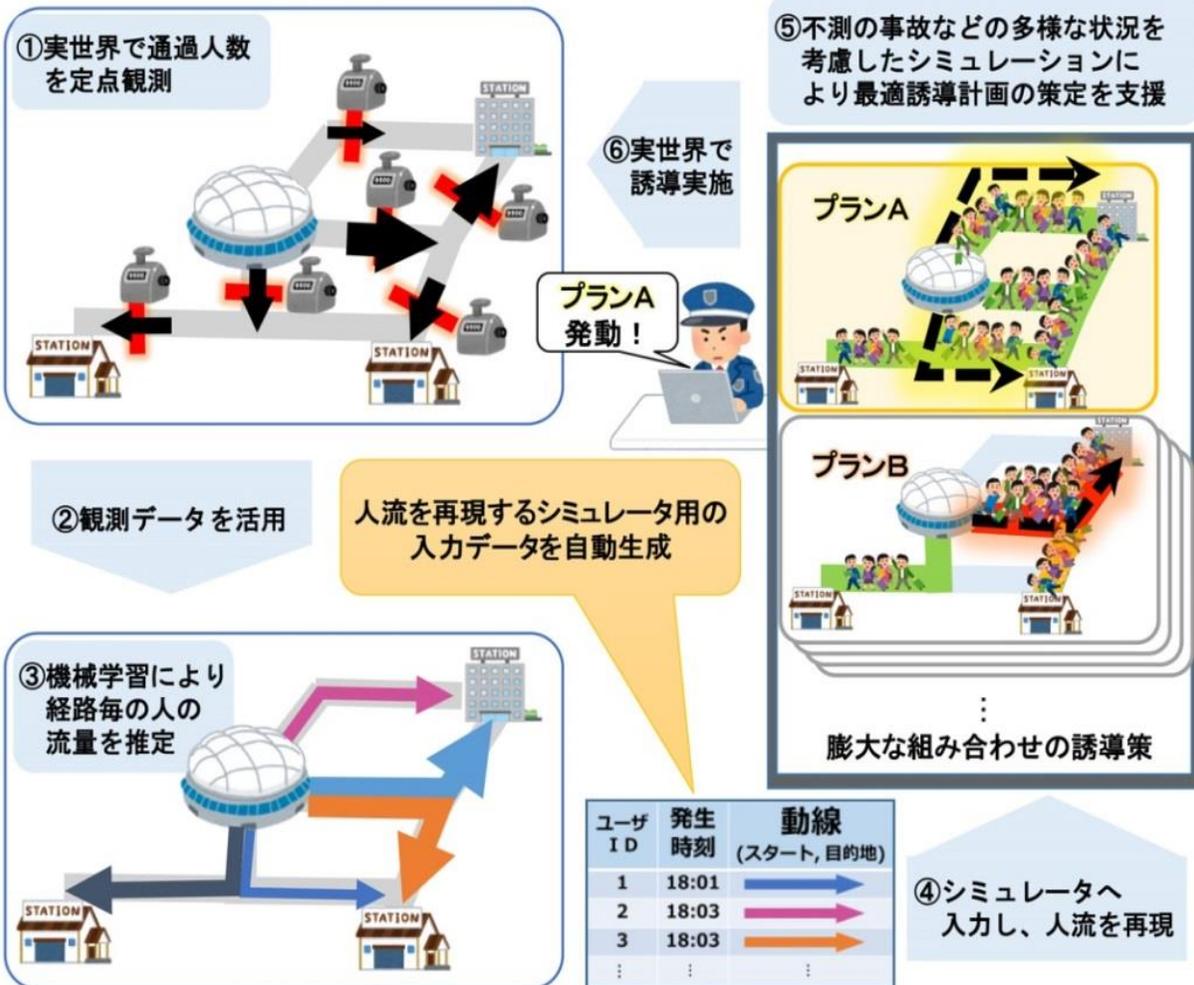
- 混雑が発生し、目的地に着くまでに時間がかかる
- 目的地で行列が発生する
- イベント会場において、事故が起こる
- 自然災害時の逃げ遅れ etc



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

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

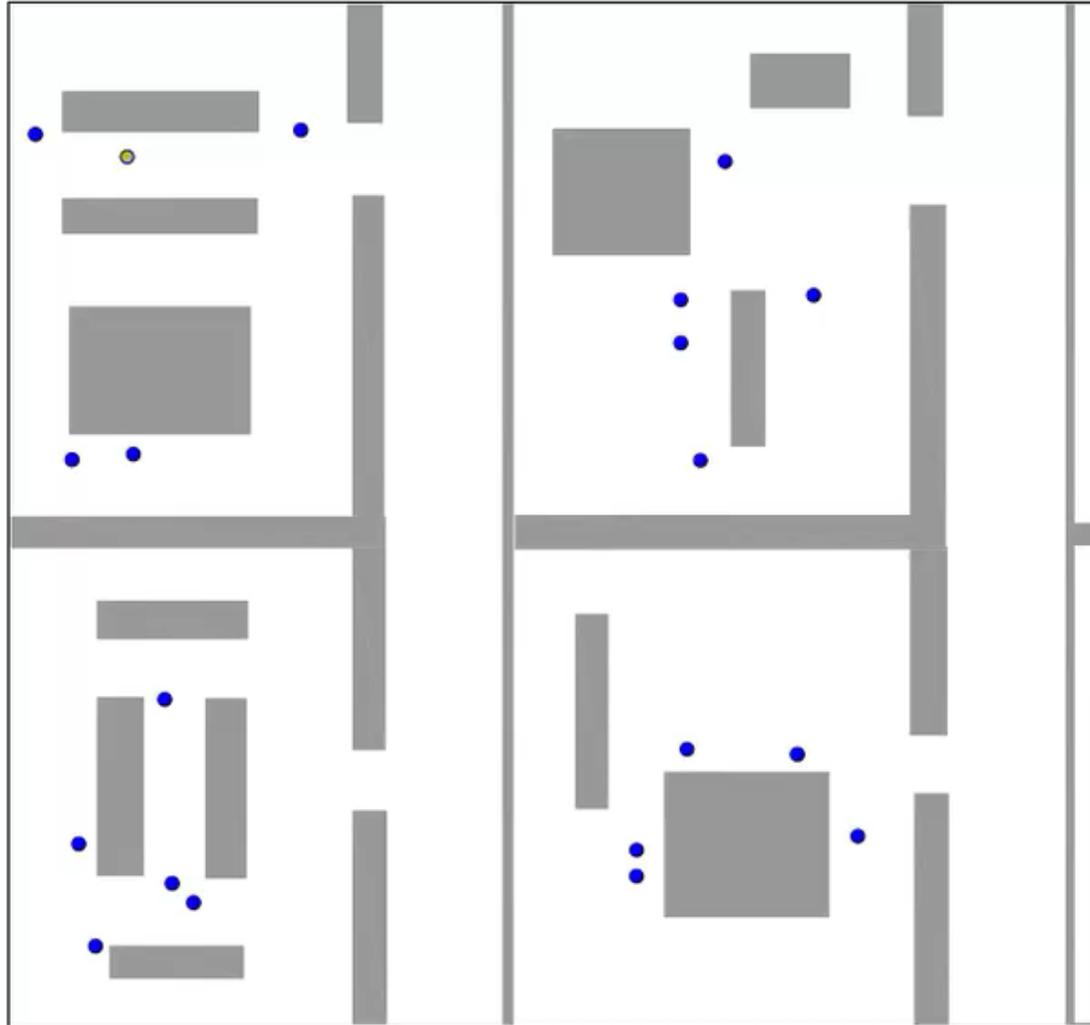
## 交通誘導

- 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



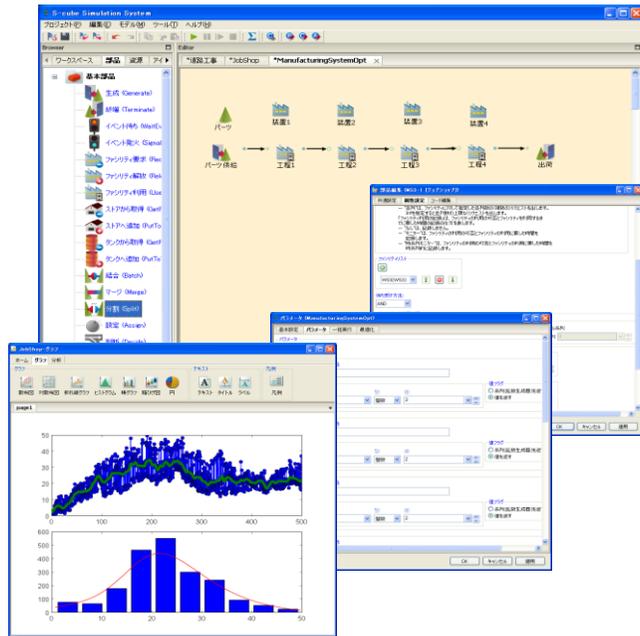
# 施設内での感染症の伝搬

agent frame

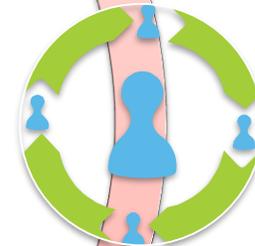


# 人流シミュレーション機能紹介

# 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。  
**2022年3月にはVer6.2をリリース予定!**

# エージェントシミュレーション

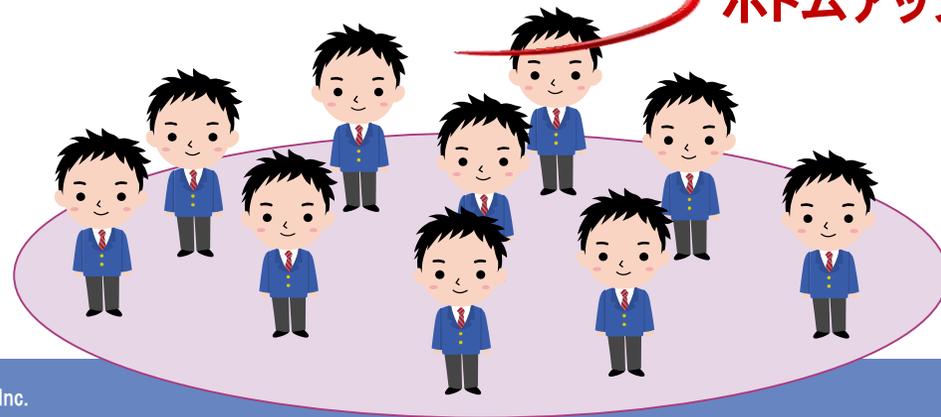
・一定のルールに従い自律的に行動するエージェントの振る舞いをシミュレートする事で、エージェント同士の相互作用から現われる、複雑な社会現象を分析・予測する手法

## エージェントシステム



### エージェント

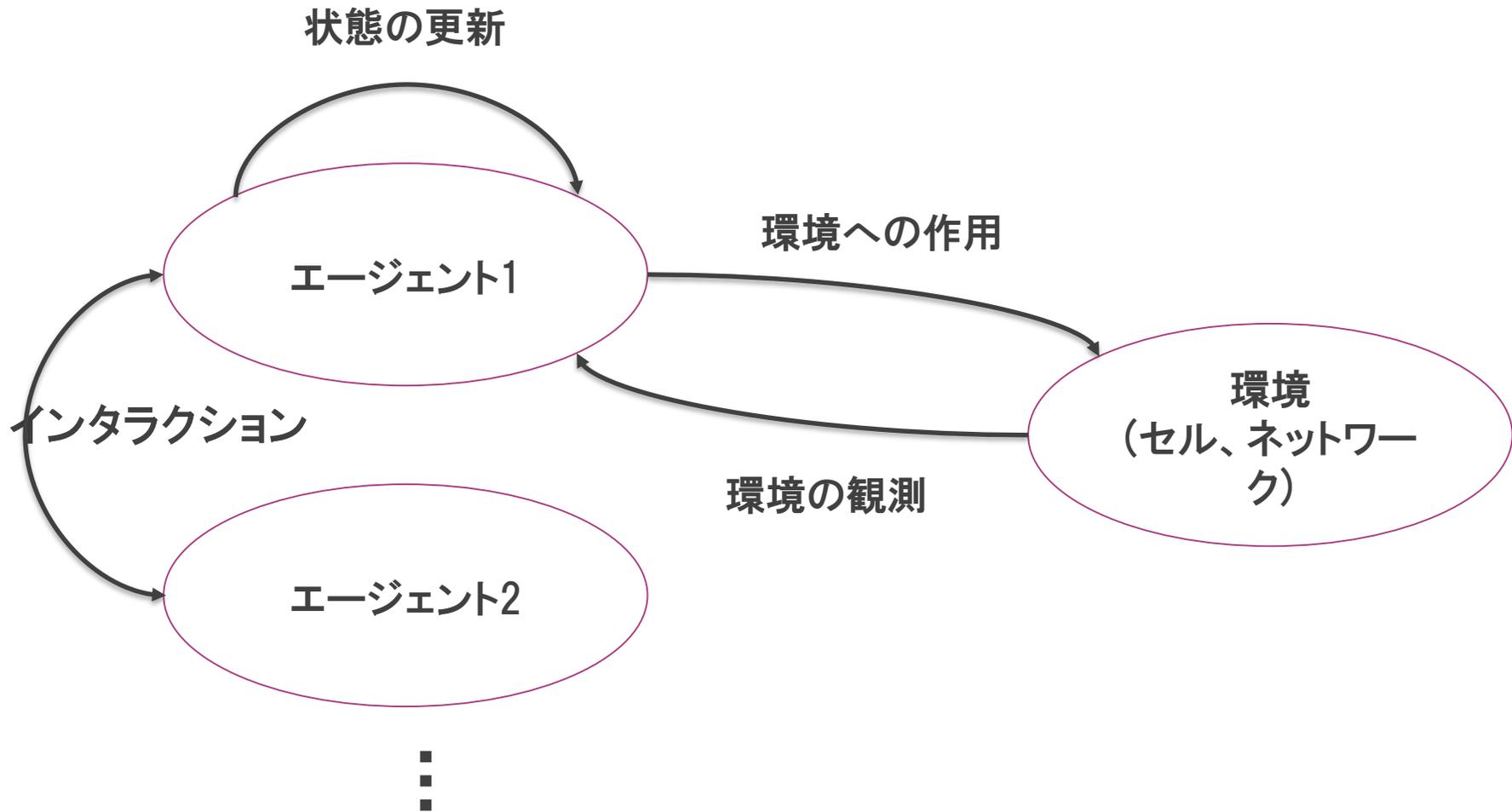
- ・一定のルールに従い自律的に行動
- ・エージェント同士が相互に作用し合い、状態を変えながら行動する事による現象をシミュレーション



### ボトムアップ

- (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 workspace shows a grid with a blue circle around an agent icon. A 'エージェント編集 (Evacuationエージェント)' window is open, showing fields for agent name, class, and object, along with '編集' (Edit) buttons. A code editor window on the right shows Python code for agent movement logic, including distance calculation and node selection. A pink arrow points from the '編集' button in the agent editor to the code editor.

**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**

# 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 is a 'Browser' panel with a tree view of components under '基本環境' (Basic Environment), including various 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 nodes and connecting lines, representing a network. A pink arrow points from the '地図編集' (Map Edit) button in the bottom toolbar to the map area.

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

# 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

(.osm)

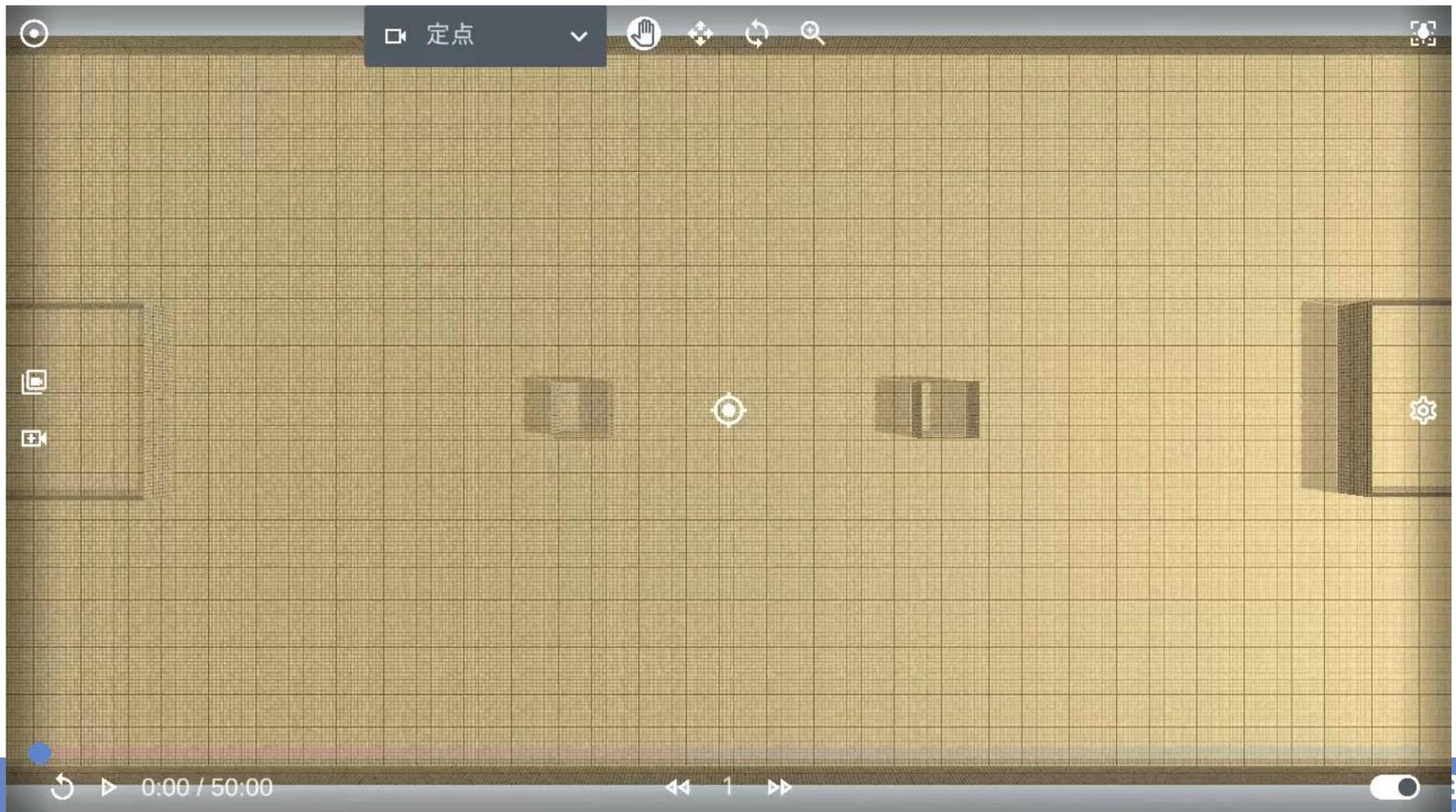
(GeoJSON)

シミュレーション

人流シミュレーション  
の環境構築を支援

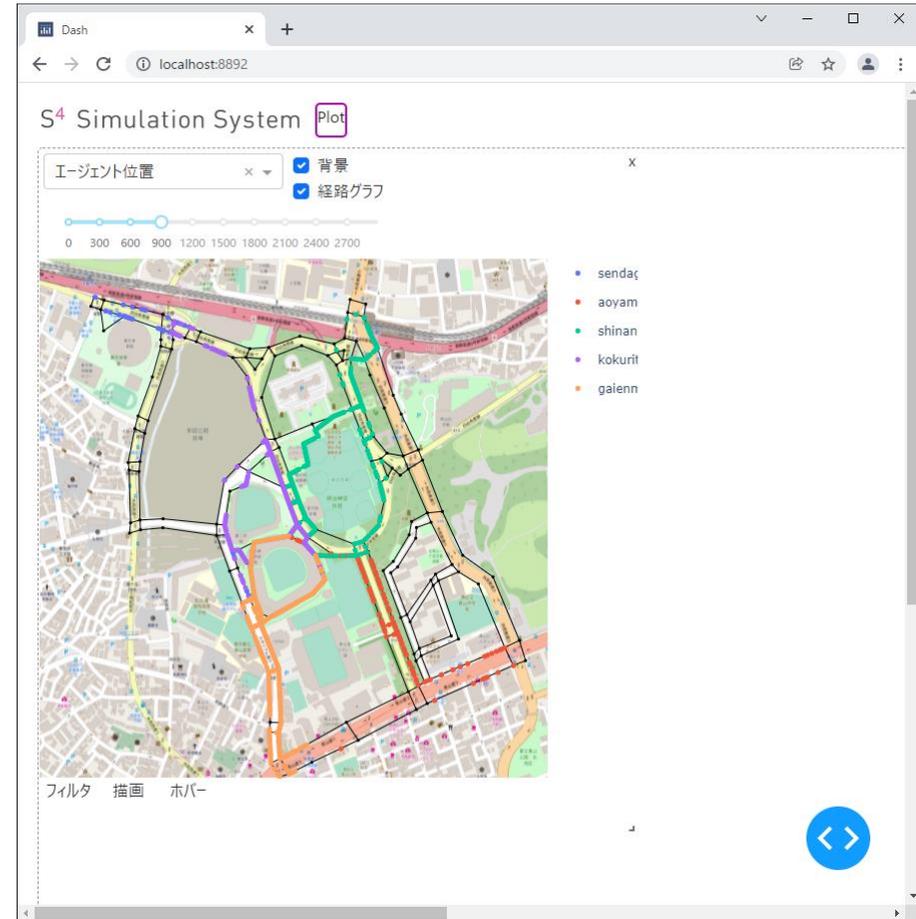
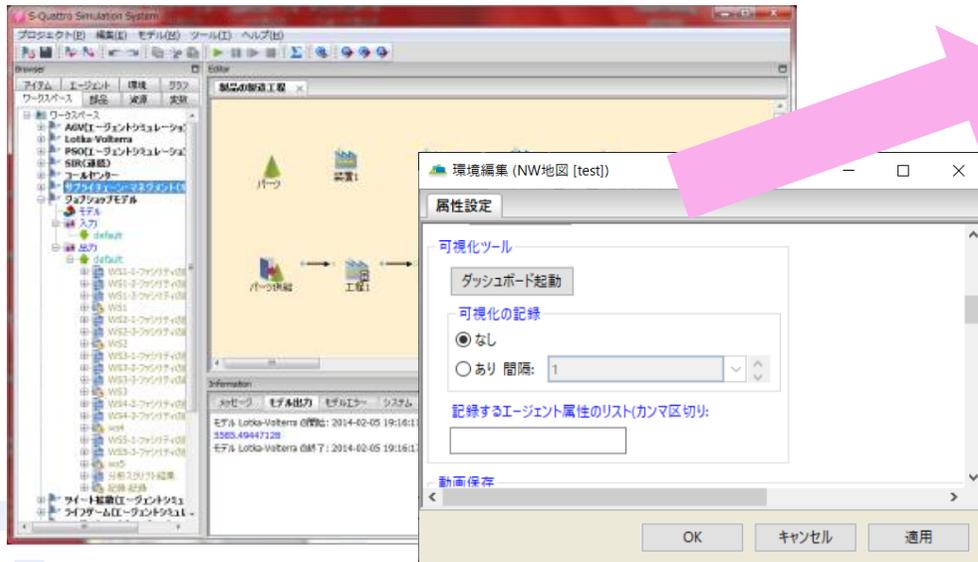
# 3Dアニメーション

- 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



# 新機能：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るようになりました
- S4のGUI上から立ち上げが可能



※ 画像は開発途中のものです

# 新機能：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

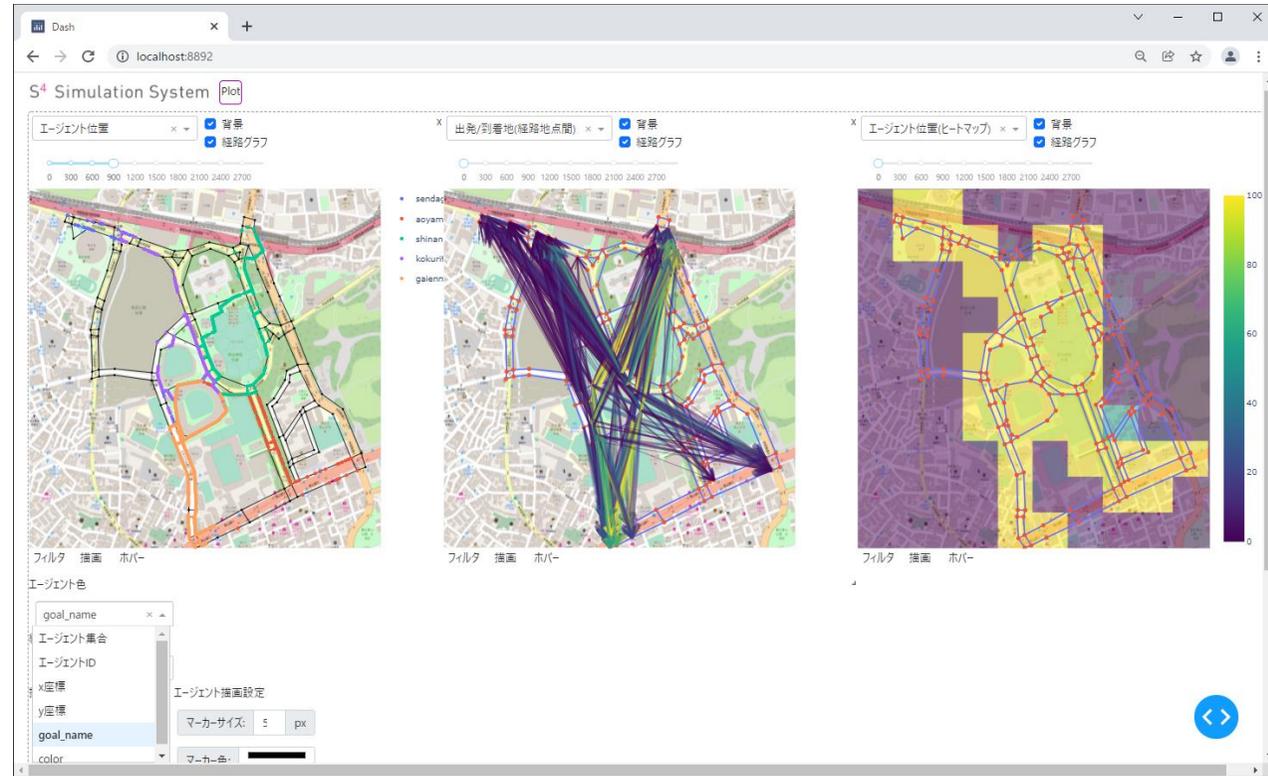
### ② GUIで簡単編集

- 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

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

## 【背景】

- 航空券や電力料金など、ダイナミックプライシングなどにより、モノの価格は一定ではなく、動的に変更されている
- 収益を最大化するために、各企業ではAIによる価格の自動決定が行われています。

## 【Algorithmic Collusion とは】

- 複数のAIが市場において最適な価格設定を学習する場合、何が起きるのか？
- AIが、人間の介入、監視、または知識さえもなしに、共謀的な価格設定（競争価格よりも高めの設定）ルールにする方法を学習した時に発生します。

## 【適用事例】

- AIの学習方法として、強化学習を用いて、S<sup>4</sup>Simulation SystemによるシミュレーションでAlgorithmic Collusionが起きるかどうかを実験しました。
- その結果、比較的単純な価格設定アルゴリズムが体系的に協調戦略を実行することを学習することを示しました。



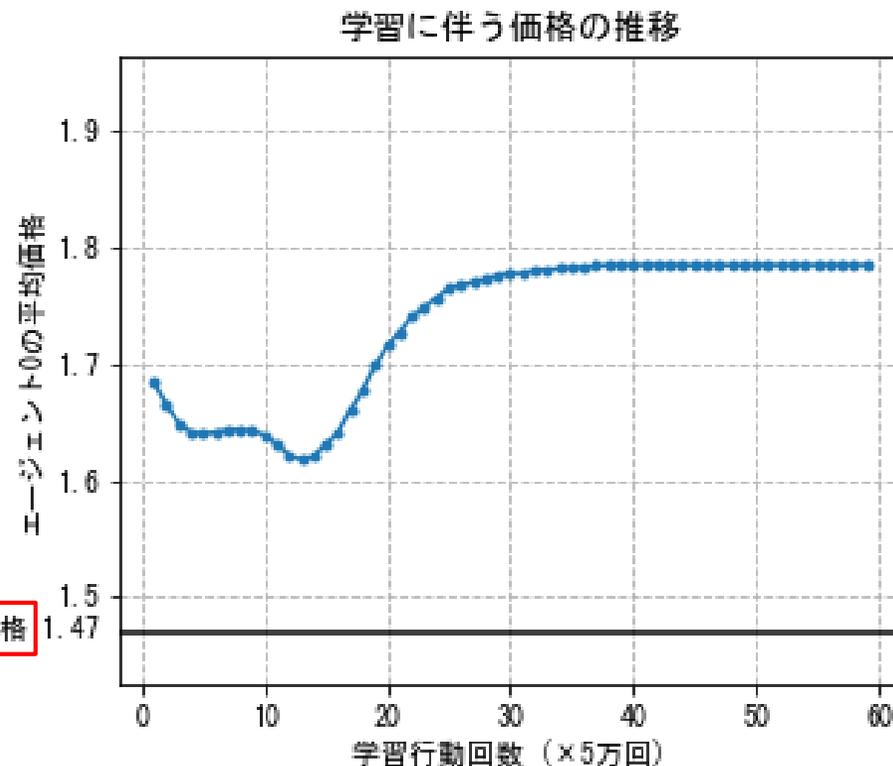
## 【学習に伴う価格の推移】

学習序盤は探索・学習に伴い市場の価格が上下します。

しばらく経過すると落ち着き、価格競争の結果実現するとされる Nash 均衡価格よりも高い価格に収束することが見て取れます。

⇒Algorithmic Collusion  
の状態が起こった

ナッシュ均衡価格 1.47

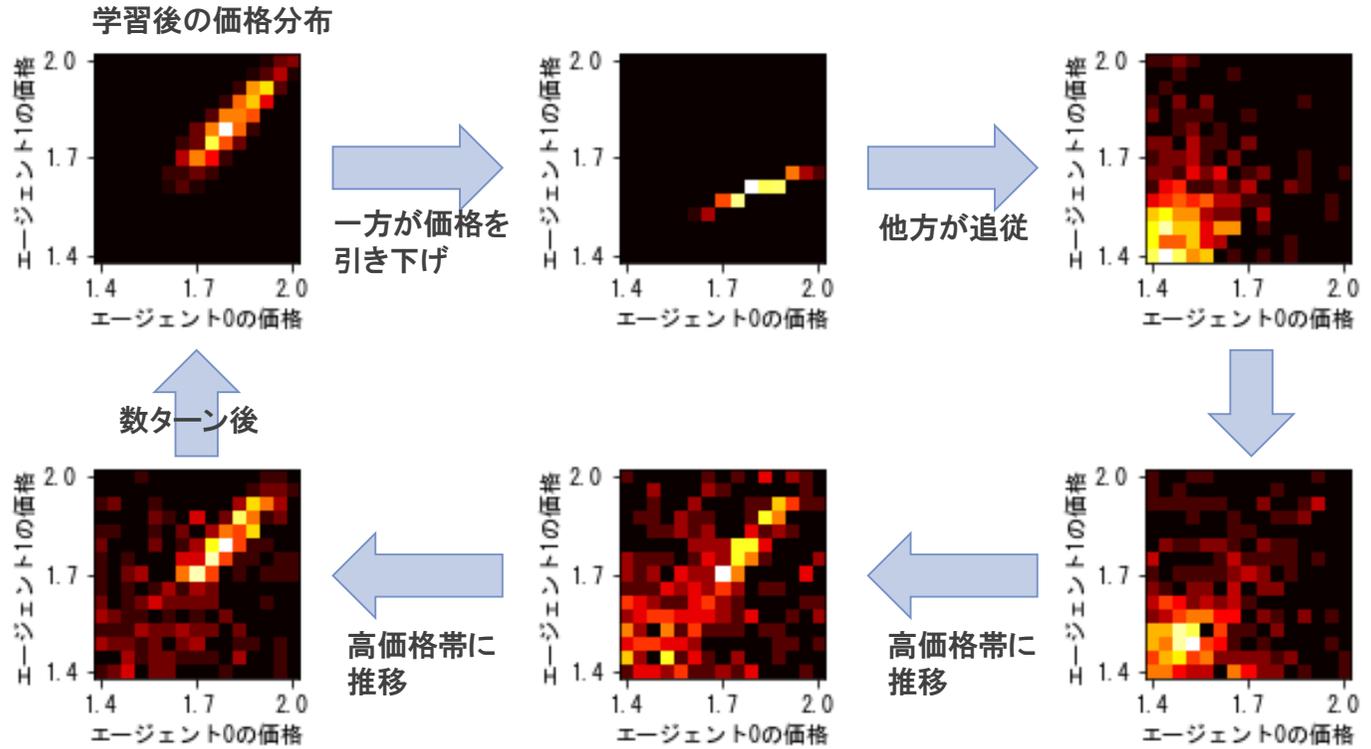


## 【学習した戦略】

学習後の均衡価格から一方のエージェントが価格を下げた場合のシミュレーション結果です。

下げられた側は即時追従して価格引き下げを行い、その後数ターンかけて両エージェントとも高価格帯（競争価格を超える価格）に戻る様子が観察されました。

⇒比較的単純な方法をとっていることが分かる



明暗はモンテカルロシミュレーションから推定した確率の大小を表す。

新バージョンリリースとともに、この  
S<sup>4</sup>Simulation System のプログラムを公開予定

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どところから、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。

### 開催日時

- 2021年12月17日(金) 13:30 - 16:30
- 2022年1月14日(金) 13:30 - 16:30
- 2022年2月24日(木) 13:30 - 16:30

**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。

## • 開催日時

2022年2月25日(金) 13:30~16:30

**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

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

※ 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、シェア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 S<sup>4</sup>担当

TEL : 03 - 3358 - 6681

FAX : 03 - 3358 - 1727

【URL】 <http://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**