

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26282083

研究課題名(和文) 知的エージェントアプローチによる都市空間内の歩行者流シミュレータの開発

研究課題名(英文) Development Studies of Pedestrian Flow Simulators by Intelligent Agent Approach

研究代表者

兼田 敏之 (KANEDA, Toshiyuki)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10192543

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、第一に、商業集積地区を対象として、顧客と店舗の二種のエージェントが相互作用する人工社会を構成した動学シミュレータDDynを試作して、都市多様性条件や中心市街地活性化策を検討した。

第二に、都市空間内を対象とした大規模歩行者群エージェントシミュレーション・プラットフォームSOARS-SRを試作し、滞在者エージェントの避難所内感染を扱うシミュレーション研究などを行った。

第三に、百貨店地下売場を対象に、ゲーミング(仮想空間行動)実験によって行動ルールを抽出するとともに空間認知機能を持つエージェントのシミュレーション結果と突合せる研究などを通じて、エージェントモデリングの方法論を進展させた。

研究成果の概要(英文)：In this research, first, we tried the dynamic simulator DDyn which made up an artificial society in which two types of agents of customer and shop interact with each other for commercial agglomeration districts, and examined not only Jacob's city diversity condition but also downtown revitalization policies.

Secondly, we developed SOARS-SR, a large-scale pedestrian agent simulation platform for urban spaces, and conducted a long-run simulation to deal with infections of residents' agents in evacuation shelters.

Thirdly, our methodology of agent modeling was developed through a research that extracts behavior rules by gaming experiments on virtual space environment in a department store underground shop and also matches simulation results of the agents with spatial cognitive function, and a research that makes compatible with assumption-based behavioral survey data of tourist of evacuation initial movement including information behavior at the time of earthquake damage.

研究分野：社会工学、都市計画学、シミュレーション&ゲーミング、エージェントベースモデリング、サービス情報学

キーワード：人工社会 知的エージェント ゲーミング スペースシンタクス 避難所 対向流 相転移 見通し線

1. 研究開始当初の背景

90年代の複雑系研究を端に発した歩行者ダイナミクス研究は、大規模シミュレーション技術の進展とあいまって、00年代を通じて都市のメソスケールにおける都市再開発、商業地活性化策、都市防災計画等を事前評価しうる問題解決ツールとして実用化の途を拓きつつある。

申請代表者は、平成21-23年度に助成を受けた基盤研究(B)『知的機能を持つ歩行者エージェントの空間行動モデリング』において、歩行者の空間行動モデリングの体系化を目指して、ボトムアップ・アプローチながら調査分析データとの適合を考慮した二つのシミュレーションモデル試作を進展させた。一つは、(1) 平常時の複合商業地区における来訪者回遊行動シミュレーションである。「計画行動」や「即応行動」そしてこれらのダイナミクス(適応・学習)を内生化した知的エージェントシミュレーションであり、あわせて提案したパフォーマンス評価枠組みの下で、名古屋市大須地区を対象に、モデリング研究を中心商業地活性化政策のシミュレーション分析にまで進展させた。もう一つは、(2) 主に非常時を想定した複合ターミナル駅の乗換え歩行者流シミュレーションであり、東海地震注意情報発令時における名古屋駅構内(5社線)における17万規模の群集マネジメントを検討したもので、大規模シミュレーションのあり方について知見を得た。これらの成果は、知的エージェントアプローチの確立に寄与したものと考えている。

しかしながら、空間認知機能や情報行動といった側面(図1参照)は、複雑系モデリング研究に取り残された領域といえる。

2. 研究の目的

本申請では、前回研究で得た体系化知見を知的エージェントアプローチと称し、新たに種々のデータ採取分析を踏まえ、現実の都市空間を対象とした歩行者流シミュレータの開発を目指す。具体的には、(1) 空間認知機能等を付加した多用事多立寄り行動(回遊行動: 平常時の繁華街における空間行動)のシミュレータ、(2) ツイッターなどパーソナルな情報機器による行動(以下、情報行動)を付加した大規模エージェント・シミュレーション・プラットフォームの二種のシステム試作を通じて、構成的手法による歩行者エージェントモデリング方法論の進展を企図するとともに、これらシミュレータの統合化の可能性を探る。

3. 研究の方法

本申請では、前回研究における成果を踏まえ、引き続き構成論的手法による都市空間内の知的エージェントの行動モデリングの知

見の蓄積を企図して、二つの試作作業とその研究共通作業からなる三項目を三年間並行させる。第一の試作作業として(1) 都心来訪者の地区来訪意思決定にかかわるダイナミクス、とくに認知や情動を加味した多用事多立寄り行動(回遊行動)の知的エージェントシミュレータの開発、第二の試作作業として(2) ツイッター等のパーソナル・メディアによる情報行動を付加した都市空間内の大規模エージェント・シミュレーション・プラットフォームの開発を行う。また、双方の開発作業を繋ぐ作業として、基礎研究文献の体系的探索・整理、実データのログ解析に基づくパラメータ同定、実ケースデータ採取のための実験・調査、成果のまとめならびにより広汎な実用用途に資する統合シミュレータとしての可能性検討を含む。

4. 研究成果

(1) 人工社会型商業集積地区ダイナミックシミュレータの開発

多用事多立寄りを来訪者の特徴とする商業集積地区を対象として、顧客と店舗の二種のエージェントが相互作用する人工社会を構成した動学シミュレータDDynを開発した。これは顧客エージェントと店舗エージェントから構成され、顧客エージェントは、メンタルモデル完全の仮定のもと、Errandの多様性を考慮して「ごみ箱」モデルによる外出意思決定を理論的に検討するとともに、来訪地区決定については事前期待地区効用によるロジット・モデルの導入、機会主義的行動プラン作成の簡略アルゴリズム、強化学習による店舗効用値の更新アルゴリズム、地区来訪実績に応じた地区効用の更新アルゴリズムの導入など、限定合理性と知的機能の双方で多様な「性格」を与える整合的モデルとして改良した。また、新しく近視眼的合理性原理に基づく店舗エージェントのモデリングならびに相互作用系の構築もあわせて行った。顧客エージェントのミクロ経済的動因による多彩な空間行動を規定する、エージェント間の動的相互作用を経済学用語における「外部性」を分類整理して、相互作用系の拡張可能性を検討した。

DDynを用いたシミュレーション分析を通じて、Jacobsの言及した都市多様性条件を検討するとともに、多様性に着目した中心市街地活性化策の分析も行った。

また、商業モール内における来訪者の微動機(micro-motive)による立ち寄りの実測研究を行い、顧客エージェントの衝動立ち寄りを考慮した空間行動モデリングの方法論を開発するとともにエージェントシミュレーションを通じて空間計画の分析を行った。

■ Results of Simulation Analyses

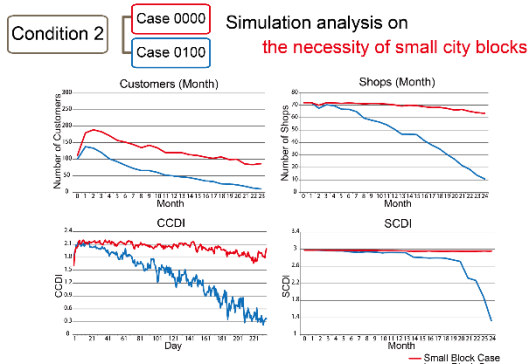


図1 DDynによる中心市街地活性化政策のシミュレーション

(2) 商業集積地区での歩行者空間分布における「見通し線」要因分析研究の進展

メソスケールで考えるならば、来訪者個々の空間行動の集積である「賑わい」の空間分布は、商業集積といった経済活動のみに起因とするには少々無理がある。前項のDDynによる中心市街地活性化政策のシミュレーションにおいても小規模街区の効果が示唆される。

そこで、街路網パターンといった都市の形態指標として知られるスペース・シンタクス理論由来の諸指標に着目する。とくに全域統合値(Global Integration Value)は「見通し線」を尺度単位としたノルムの平均値についての指標と解釈することができる。

本研究では、2時点における名古屋市栄南地区、栄地下街、名駅地下街を対象にgate-count調査で得た賑わいの空間分布データを、前述のスペース・シンタクス指標を含めたステップワイズ重回帰分析によって要因抽出を行った。結果としていずれもスペース・シンタクス指標が要因変数として採択され、見通し線の影響を確認した。また、賑わい分布の代理変数として賃料・地価を用いて、大規模な区画整理が行われた戦前・戦後の2時代における名古屋都心域の要因分析を行ったところ、同じ結果を得ている。

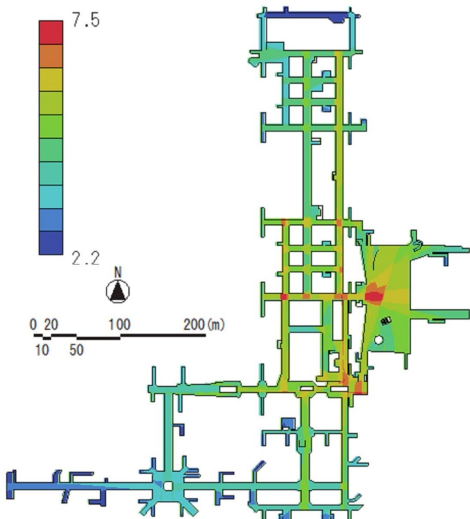


図2 栄地下街における全域統合値の分布

(3) 都市空間内の大規模歩行者エージェント・シミュレーション・プラットフォームSOARS-SRの開発と避難所内滞在者の空間行動 - 空間相互作用モデル研究の進展

SOARS(Spot-Oriented Agent Role Simulator)は、3層のモデリングフレームを持つエージェント・シミュレーション・プラットフォームであり、下位層はJava、中位層はスクリプト様言語とステージモデル、開発実行環境であるモデルビルダー、上位層はGUI環境であるビジュアルシェルから構成される。宣言型スクリプト様言語でエージェントの役割行為を記述するための「ロール」、エージェント間の相互作用の場としての「スポット」に特徴がある。

本研究でエージェントの空間行動を陽に扱うために改造したSOARS-SR(with Spatial Representation)は、新たにxyz座標系を実装してセル空間の表現を可能としたものである。これはxyz座標や隣接スポット変数など必要になる変数を持たせた親スポットを導入し、個々のセル・スポットにクラス継承させることなどにより実装した。

SOARS-SR上でエージェント・シミュレーションの大規模化・高速化を検討するために、震災時など非常時における長時間(大規模ステップ数)の滞留行動を扱うワークベンチとして避難所シミュレータを新たに制作した。

避難所シミュレータは小学校の体育館を想定したもので、滞在者の避難所内空間行動のうち、占有空間レイアウト、トイレや食事のための歩行移動を扱うものである。避難所開所後の9時間30分(102,600ステップ)のシミュレーション分析を行ったのち、SOARS-SRの改良とともに、滞在者間の空間相互作用の一例として感染症を扱うモデルを新たに開発し、避難所開所後4日間(1,036,800ステップ)のシミュレーション分析を行った。避難所規模は120エージェントと少数であるものの、擬似乱数を用いた確率シミュレーションのため、50ラン×数ケースの大規模実行となった。SOARS-SRの頑健性を確認するとともに計算実行時間など今後の改善方向を検討した。



図3 SOARS-SR上で実行した避難所内滞在者のシミュレーション画面

(4)都市空間内の理論解析 / 実務応用指向の歩行者エージェントシミュレーション研究の進展

理論指向の研究としては、対向流では終局状態において行動ルールの左右サイドステップの偏りと群集密度に応じて6つの相が観測されるとともに、これらが相分布図として整理されることが明らかとなっている。

また、実務応用に資する都市空間内の歩行者流シミュレーションとしては、地下街避難、広場や大通りにおける通行と滞留、歩車（歩行者 = 自動車）混成流における渋滞の研究が進展した。

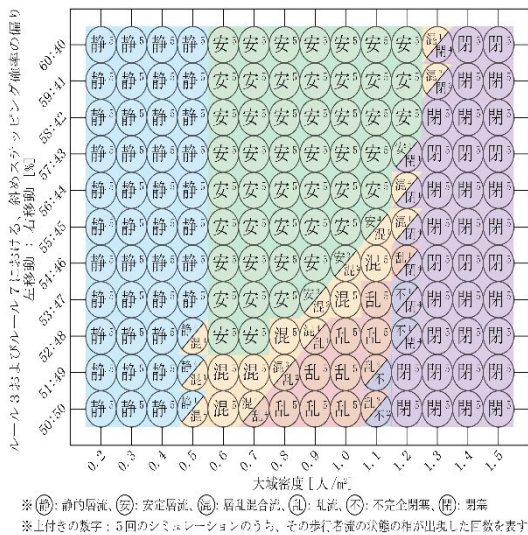


図4 行動ルール型歩行者エージェントの対向流における相分布

(5)データ適合を考慮した知的機能を持つ歩行者エージェントのモデリング方法論の進展

スペース・シンタクス理論では、目的地を持たない自由探索行動を「自然な行動 (Natural Movement)」と称して、見通し線最長方向に方向転換するルール（見通し線最長方向原則）を有する Vision Driven Agent のモデルが提案されていた。これは、エージェントに空間認知機能を導入したものである。これを発展させて、百貨店地下売場の来訪者の行動のように目的物の探索などといった能動的探索行動について新たに自らの辿った歩行経路を制約に付加した足跡制約型見通し線最長方向原則による歩行者エージェントモデルを試作してシミュレーション分析からこのモデルの性質を探った。また、同じ地下売場を3次元仮想空間で構成するとともに、被験者を対象としたゲーミング実験（仮想空間行動実験）を実施して、そのログデータから行動ルールを抽出したところ、足跡制約型見通し線最長方向原則を導出することができる。これにより、双方のデータログの突合せを通じてエージェントモデルの

パラメータ設定が可能であることが明らかになった。

また、Vision Driven Agent のもう一つの応用として、広場における植栽・テーブル・チェアなどのレイアウトが通行動線に及ぼす影響を検討するため、見通し線最長方向原則に退出ルールを付加したOD対を持つ歩行者エージェントモデルを新たに試作して、シミュレーション分析を行った。富山グランドプラザにおける通行動線の実測結果と突合せたところ、良好な結果が得られた。

また、地震被害時における観光客の空間行動は、スマホなどのパーソナル情報機器を含む多種多様な情報源へのアクセス行為を伴い、またこれらから得られた情報に大きく影響される。これらの行動を本研究では情報行動を称して、観光地におけるより現実的な避難エージェントシミュレーションを指向して、観光客エージェントモデリングを以下の3つのステップで構成した。(ステップ1) 観光客を対象として避難初動と経路選択についての質問紙調査データを用いて、観光客を避難上の指向性で4つのグループに分類する。(ステップ2) 被験者を対象としてより具体的な被災状況（情報入手の可否を含む）における行動（前述の情報入手行為を含む）を問う想定行動調査を行う。(ステップ3) 結果データをマイニング技法である決定木分析によって行動ルール抽出を行い、グループごとに典型的なエージェントモデルを構成する。このモデルを用いて姫路城の避難を事例としてシミュレーション分析を行った。

これらの試みは、データとの適合を予め考慮したエージェントの自動モデリングに途を拓く方法論上の知見と考えている。

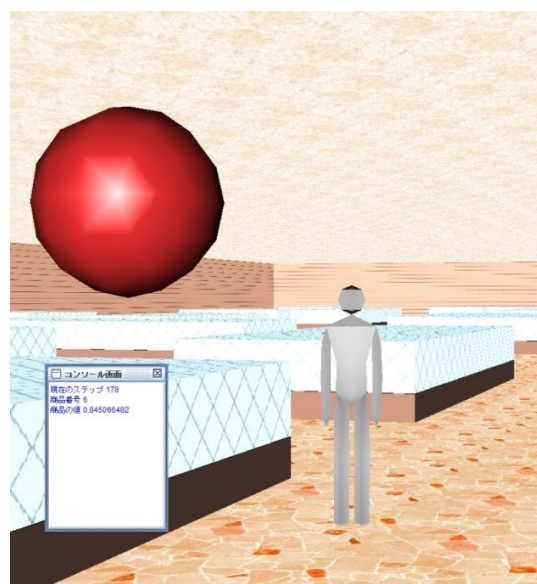


図5 能動的探索行動ルール抽出のためのゲーミング（仮想空間行動）実験の画面

5. 主な発表論文等
(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

正光将大, 兼田敏之, 行動ルールを用いた歩行者エージェントモデルによる対向流の相転移の分析, 日本建築学会技術報告集, 査読有, 第 23 巻, 第 54 号, 2017, 721 - 724

T. Mizuno, M. Shohmitsu, T. Kaneda, A Study on the Agent-Simulation of Waiting Behaviours inside a Transfer Station, 2016 IEEE 40th Annual International Computers, Software & Applications Conferences, 査読有, 2016, 111 - 116

H. Magdy, M. Shohmistu, T. Kaneda, "Sidewalk" as a Realm of Users' Interactions: Simulating Pedestrians' Densities at a Commercial Street in Cairo City, REAL CORP 2016 Proceedings, 査読有, 2016, 569 - 578

Sonohara, M., Natsume, Y., Kaneda, T., A Study on Shop-Around Agent Simulation Considering Attractiveness for Impluse Stop, 2015 IEEE 39th Annual International Computers, Software & Applications Conferences, 査読有, 2015, 368 - 372

Ota, A., Nakano, Y., Kaneda, T., Comparative Analysis on Factors of the Pedestrian Numbers in a Downtown Area Using Space Syntax Indicators: Case Comparisons of Sakae-South, Nagoya CBD in Japan between 2005 and 2011, Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium, 査読有, 2015, 082 - 097

Kaneda, T., Chang, S., Downtown Dynamics Model by Artificial Society Approach, CUPUM 2015, 査読有, 2015, 266 - 782

Shohmitsu, M., Chang, S., Kaneda, T., Jin, R., Simulation Analyses on Jane Jacobs' City Diversity Requirements by Using Downtown Dynamics Model, CUPUM 2015, 査読有, 2015, 267-682

Suzuki, T., Kaneda, T., Okamoto, K. & Tamada, M., Measurement and Modeling of Proactive Exploration Behavior by Using a Virtual Space Experiment System, The Joint Conference Proceedings of the 46th International Simulation And Gaming Association (ISAGA)/ Japan Association of Simulation And Gaming (JASAG), 査読有, 2015, 637 - 650

Kaneda, T., Okamoto, K., Suzuki, T. & Tamada, M., An Analysis of the Characteristics of a Proactive Exploration Behavior Model Based on Three-Dimensional Virtual Space Experiments, The 9th International Workshop on Agent-Abased Approach in

Economic and Social Complex systems (AESCS), Bali, Indonesia, 査読有, 2015, 93 - 104

兼田敏之, 店舗集積地区における来訪者の回遊行動のモデリング, 人工知能, 査読無し(論説), 30-4, 2015, 423 - 428

太田明, 兼田敏之, スペース・シンタックス指標を導入した都心域の土地価格指標の形成要因の時代間比較分析, 日本建築学会計画系論文集, 査読有, 80, 2015, 1365 - 1372

小林年幸, 原崎雅也, 兼田敏之, 回遊行動からみた商店街複合地区のテナントの動態要因の分析 -2013 年名古屋市大須地区を事例として-, 日本建築学会技術報告集, 査読有, Vol.21, No.48, 2015, 811 - 814

Kaneda, T., Okamoto, K., Tamada, M., Modeling and simulation of proactive exploration behaviors, Transportation Research Procedia, 査読有, 2, 2014, 567 - 575, DOI: 10.1016/j.trpro.2014.09.097

[学会発表](計 7 件)

民谷啓, 市川学, 酒井宏平, 兼田敏之, セル空間上における避難所シミュレータの開発と避難者空間行動に関する分析, 計測自動制御学会第 10 回社会システム研究会, 2016, 169 - 174

兼田敏之, 鈴木達人, 能動的探索行動モデリングのための 3Dゲーミング実験システム, 第 6 回横幹連合カンファレンス, 2015, 353 - 356

Toshiyuki KANEDA, Downtown Dynamics Model as a Test Bed for Jacobs' City Diversity Conditions, CSSSA 2015 Santa Fe (Poster), 2015

兼田敏之, 人工社会アプローチによるダウンタウン・ダイナミクス・モデル, 人工知能学会 ビジネス・インフォマティクス研究会, 2015

北澤正樹, 高橋雅和, 寺野隆雄, 高齢化による移動行動変化を考慮した都市動態エージェントシミュレーション, 第 8 回社会システム研究会, 計測自動制御学会, 2015

市川学, 出口弘, 社会シミュレーションのための仮想都市環境構築システム, 計測自動制御学会第 7 回社会システム研究会, 2014

兼田敏之, 徳永健一, 用事ベースド都心来訪意思決定モデルとその理論的検討, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会, 2014

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 1 件)

名称: 自律エージェントの能動的探索行動シ

ミュレーションシステム

発明者：兼田敏之

権利者：兼田敏之

種類：特許

番号：特願 2014-19457

出願年月日：2014-09-25

国内外の別：国内

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

名古屋工業大学兼田研究室ホームページ

<http://archi2.ace.nitech.ac.jp/kaneda2/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

兼田 敏之 (KANEDA, Toshiyuki)

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10192543

(2)研究分担者

高橋 雅和 (TAKAHASHI, Masakazu)

山口大学・大学院技術経営研究科・准教授

研究者番号：20621105

市川 学 (ICHIKAWA, Manabu)

国立保健医療科学院・健康危機管理部・主任研究官

研究者番号：60553873

(3)連携研究者

(4)研究協力者

夏目 欣昇 (NATSUME, Yoshinori)

玉田 正樹 (TAMADA, Masaki)

徳永 健一 (TOKUNAGA, Ken'ichi)

岡本 光平 (OKAMOTO, Kouhei)

太田 明 (OTA, Akira)

小林 由幸 (KOBAYASHI, Yoshiyuki)

原崎 雅也 (HARAZAKI, Masaya)

園原 諒 (SONOHARA, Makoto)

中野 裕輔 (NAKANO, Yuusuke)

CHANG, Shang

正光 将大 (SHOMITSU, Masahiro)

鈴木 達人 (SUZUKI, Tatsuto)

民谷 啓 (TAMIYA, Kei)

酒井 宏平 (SAKAI, Kouhei)

Hussam Magdy

水野 貴之 (MIZUNO, Takayuki)

大橋 怜 (OoHASHI, Satoshi)

森田 友梨 (MORITA, Yuri)

水野 吏佳子 (MIZUNO, Rikako)

吉田 道秀 (YOSHIDA, Michihide)

Uriel Gadea