

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 25 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 年度～2012 年度

課題番号：22656096

研究課題名（和文）群集挙動のモデル化とその大規模粒子群の挙動解析への展開

研究課題名（英文）A modeling of pedestrian flow model and its application to the analysis of locally connected multi-agent systems

研究代表者

児島 晃 (KOJIMA AKIRA)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：80234756

研究成果の概要（和文）：群集挙動，交通流の微視的挙動をハイブリッドシステム論に基づいて表す方法を考察し，これらの現象を記述するモデルが Mixed Logical Dynamical System 表現に基づいて与えられることを明らかにした．そして，群集流の混雑時，交通流の渋滞への遷移時に発生する特有の現象が本モデルにより生成できることを示し，本質的な現象を抽出する簡略モデルを構成する方法を併せて検討した．

研究成果の概要（英文）：The understanding of the pedestrian behavior in the crowd and the traffic flow is indispensable for the assessment of urban layout and various approaches are reported for evaluating the safety of the social infrastructures. In this study, a simulation model for the pedestrian and traffic flows is introduced based on Mixed Logical Dynamical (MLD) system approach. The feature of the resulting model is investigated based on the bottle-neck simulation and it is shown that typical phenomenon arising in the pedestrian and traffic flows are fairly generated based on the proposed model. An approach for the model reduction is also investigated based on the system identification with the simulation data.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	800,000	0	800,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,200,000	420,000	2,620,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・制御工学

キーワード：システム理論・ハイブリッドシステム・モデル予測制御・群集挙動・交通流

1. 研究開始当初の背景

ネットワークの拡大により，都市機能が高度に発展し，その需要の集中が引き起こす非定常な現象予測と安全性の検証が重要な課題となりつつある．特に群集挙動においては，公共施設，ターミナル駅における予期せぬ混

雑の発生と，輸送システムを介した混雑の拡大など，社会基盤システム全般に波及する不安定な事例が増えつつある．

一方，制御分野においては，複雑な論理と動特性を自在に記述できるハイブリッドシステム論が開発され，群集挙動を記述するモデルを，建築分野で検証された歩行者の動特

性に基づいて忠実に構築することが可能になった。そしてこれらの手法は、モデルベースの接近法であるため、動特性と制約を変更することにより、交通流など、空間拘束の下で形成される巨大フォーメーションを扱うことが可能であり、同定法を介して巨視的モデルを合理的に構築する方法論が確立できると期待される。

2. 研究の目的

群集挙動のモデル化に着目し、建築分野で明らかにされた群集の自律的な挙動が、ハイブリッドシステムとそれを駆動するモデル予測制御法により再現できることを明らかにする。そして微視的接近法からシミュレーションモデルを構築し、歩行空間における歩行者数（流動係数）の入出力特性など巨視的モデルが、適当な同定法を介して獲得できることを明らかにする。本接近法は、サブシステム（粒子）の微視的モデルと相互作用を定義することにより導かれるため、各粒子と相互作用を適切に定義すれば、交通流のモデル化など、広く共通の接近法を与えることが可能である。解決を試みる課題は、以下の3つである。

(1) ハイブリッドシステム表現による群集挙動モデルの開発

群集挙動を記述する微視的モデルが、ハイブリッドシステムとそれを駆動するモデル予測制御法により構築できることを示す。そして、群集特有の動特性が提案モデルにより記述できることを示し、それらの局所的な特性が群集全体に与える影響を提案モデルにより評価する。

(2) 交通流モデルへの展開

課題(1)の成果を、交通流モデルなどその特徴がよく知られた工学分野に展開する。そして、サブシステム（車両）の微視的モデルと相互作用の定義から、渋滞流への遷移を生成する交通流モデルを導き、接近法の有用性を評価する。

(3) 大規模粒子群の挙動解析への展開

群集挙動、交通流に対して構成した微視的モデルに基づき、巨視的モデルを抽出する方法とその有用性を評価する。(1),(2)で得られた微視的モデルは、様々な条件下でシミュレーションデータを生成することが可能であり、またその計算量も近傍のエージェント間の情報交換に基づくため、合理的に抑制できる可能性がある。これらの特徴に着目し、注目する特徴量を効果的に表現する巨視的モデルの抽出法を検討する。

3. 研究の方法

2節に述べた各課題に対して、以下の方法により研究を展開した。

(1) ハイブリッドシステム表現による群集挙動モデルの開発

歩行者の動的モデルをハイブリッドシステム論により記述し、群集の自律的な挙動をモデル予測制御法により発生させる微視的モデルを構築する。これらの接近法の有用性は、(a)非定常現象に起因する挙動を見落とさずにマクロな挙動モデルに反映できる点、(b)計算量が群集を構成する歩行者数に比例するので数百人規模のシミュレーションまで容易に行える点にある。本課題においては、建築分野で明らかにされた歩行行動の特徴に基づき、つぎの微視的モデルを構築することを考える。

①建築分野で明らかにされた歩行者の動特性、他の歩行者との相互作用に基づいて、微視的モデルに基づく群集挙動モデルを構築する。モデル化においては、歩行者の動特性を位置と速度により支配される質点系により表わし、周囲の歩行者との相互関係により、群集内の挙動を表現する。

②方法①で導かれる微視的モデルは、建築分野で解明された様々な歩行者の挙動を表現する能力を有し、局所的な非定常現象に起因する巨視的な現象が的確に生成できる可能性がある。例えば、群集の退出行動においては、出口にアーチ状の混雑が形成され、脈動する流動係数を介して流量が確定することが知られているが、従来手法ではこれらの現象が生成されない。本考察では、方法①で構築された微視的モデルが群集固有の現象を的確に表現していることを確認する。

(2) 交通流モデルへの展開

交通流で解明された現象をハイブリッドシステムモデルに反映させ、大規模系の解析に適した巨視的モデルを抽出する。交通流の微視的モデルは、質点の経路計画と相互作用（追従、追い越し）など群集挙動と同様であり、(1)と同様の接近法を展開することができる。本課題では、交通信号間の区間モデルを、方法(1)で検証した手法により導くことを考え、渋滞流への遷移など、対象特有の現象を捉えたモデルの構築法を検討する。

(3) 大規模粒子群の挙動解析への展開

群集挙動・交通流モデルは、微視的モデルに基づくため、巨視的挙動に影響を及ぼすエージェント間（歩行者、車両）の相互作用について、効果的に特徴を抽出できる可能性が

ある。本課題では、微視的モデルから生成したシミュレーションデータに、システム同定法を適用することにより、巨視的な特徴を抽出したモデルの構築法を検討する。

4. 研究成果

本研究で展開した課題(1) ハイブリッドシステム表現による群集挙動モデルの開発、(2) 交通流モデルへの展開、(3) 大規模粒子群の挙動解析への展開に関して、以下の成果を得た。

(1) ハイブリッドシステム表現による群集挙動モデルの開発

ハイブリッドシステム表現のひとつである MLD (Mixed Logical Dynamical) システム表現に基づき、(a) 経路計画に関わる制約、(b) 群集内の相互作用により発生する制約、を導入した群集挙動モデルを開発した。本モデルの特徴は、群集特有の挙動が、ハイブリッドシステムモデルとそれを駆動するモデル予測制御則により与えられる点にある。そして、退出行動におけるボトルネックの生成とその流動係数の推移、合流現象（正方向、逆方向合流）における流動係数の評価において、建築分野で報告されている現象が再現できることを確認した。

また、これらのモデルに歩行者の心理的影響に関わるパーソナルスペースの論理を導入することにより、緊急時と平常時のパーソナルスペースの取り方の違いと群集流動の関係性を考察した。

(2) 交通流モデルへの展開

交通流モデルを成果(1)の方法により開発し、車両の相互作用により交通流全体の動特性が生成されることを確認した。交通流モデルにおいては、渋滞現象への遷移、メタ安定状態など、交通流特有の現象が生成できるか否かが手法評価のポイントとなる。本考察においては、加減速時における各車両の動特性が非対称であること、運転者・車両の反応遅れ時間を考慮することにより、ひとつの交通流モデルを導いた。

提案モデルの動特性を、ボトルネックシミュレーションにより評価し、メタ安定状態を経由して渋滞流へ遷移する過程、交通流特性など、妥当な現象が再現されることを確認した。

(3) 大規模粒子群の挙動解析への展開

群集・交通流に関する(1)、(2)の成果は、エージェントの局所的な相互作用により、全体の挙動を生成する代表的なモデルと位置付けられ、大規模エージェントの特徴解析を

行う基礎事例になる。

本考察においては、群集挙動モデルから、群集の流動特性を抽出する方法を検討し、モデルが生成するシミュレーションデータにシステム同定法を適用する方法を考察した。これらの結果から、本手法は流量の変化を大局的に捉える上で有用であり、複雑な歩行空間が単純な伝達関数モデルの結合により表現できる可能性があることを確認した。

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 5 件)

① T. Shimizu, T. Igakura, R. Ishibashi, A. Kojima: A modeling of pedestrian behavior based on hybrid systems approach -an analysis on the direction of confluence-, Proc. of SICE Annual Conference 2011, 査読有, pp.1442-1446

② H. Yokoe, R. Ishibashi, A. Kojima: A modeling of traffic flow with MLD system approach including the effect of human reaction delays, Proc. of SICE Annual Conference 2011, 査読有, pp.1892-1896

③ T. Igakura, T. Shimizu, R. Ishibashi, A. Kojima: A modeling of pedestrian flow with psychologically-based personal spaces, Proc. of SICE Annual Conference 2011, 査読有, pp.1887-1891

④ 幸加木徹, 児島晃: MLDシステム表現に基づく群集挙動のモデリング, システム制御情報学会論文誌, 査読有, Vol. 23, No. 7, 2010, pp. 139-146

⑤ A. Kojima, T. Koukaki, Y. Mitamura: A modeling of pedestrian flow based on a hybrid system approach, Proc. of 2010 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, 査読有, 2010, pp. 2362-2367

[学会発表] (計 10 件)

① 大竹峻, 猪鹿倉貴史, 石橋良太, 児島晃: 群集シミュレーションの特徴抽出と簡略化, 第13回計測自動制御学会制御部門大会, 2013年3月6日, 福岡

② 横江秀信, 石橋良太, 児島晃: ハイブリッドシステム表現に基づく交通流モデルの提案, 第13回計測自動制御学会制御部門大会, 2013年3月6日, 福岡

③ 横江秀信, 石橋良太, 児島晃: ハイブリッドシステムモデルに基づく渋滞現象の解析, 第55回自動制御連合講演会, 2012年11月18日, 京都

④猪鹿倉貴史, 清水剛, 石橋良太, 児島晃: 群集挙動モデルに基づく密度・流動特性解析, 第12回計測自動制御学会制御部門大会, 2012年3月15日, 奈良

⑤横江秀信, 石橋良太, 児島晃: 反応遅れ時間を考慮したボトルネック区間における交通流シミュレーション, 第54回自動制御連合講演会, 2011年11月19日, 愛知

⑥猪鹿倉貴史, 清水剛, 石橋良太, 児島晃: 遷移状態を考慮した群集挙動の動特性解析, 第40回制御理論シンポジウム, 2011年9月27日, 大阪

⑦清水剛, 児島晃: ハイブリッドシステム表現を用いた群集挙動のモデリングー合流方向と動特性の解析ー, 平成22年度電気学会電子・情報・システム部門大会, 2010年9月3日, 熊本

⑧三田村勇輝, 児島晃: システム同定を用いた群集挙動モデルの簡略化, 第53回自動制御連合講演会, 2010年11月4日, 高知

⑨清水剛, 幸加木徹, 児島晃: ハイブリッドシステム表現を用いた群集挙動のモデリングー退出・合流と動特性の解析ー, SICE システム・情報・制御におけるライフサイエンス研究2010, 2010年11月26日, 京都

⑩猪鹿倉貴史, 清水剛, 石橋良太, 児島晃: パーソナルスペースを考慮した群集挙動モデルの導出と動特性の解析, 第11回計測自動制御学会制御部門大会, 2011年3月17日, 沖縄

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.sd.tmu.ac.jp/akojima-lab/index.html>

投稿中論文

猪鹿倉貴史, 清水剛, 石橋良太, 児島晃: パーソナルスペースを考慮した群集挙動モデリング - ハイブリッドシステム表現に基づくアプローチ -

(2013年2月)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

児島 晃 (KOJIMA AKIRA)

首都大学東京・システムデザイン研究科・教授

研究者番号: 80234757