

## 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10日現在

機関番号：10101  
研究種目：若手研究(A)  
研究期間：2009～2012  
課題番号：21680014  
研究課題名（和文）低混雑社会実現のためのサービスインフラ利用モデルと行動調整システム  
研究課題名（英文）A multi-agent model of service utilization and plan coordination for a non-congested society  
研究代表者  
川村 秀憲（KAWAMURA HIDENORI）  
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授  
研究者番号：60322830

## 研究成果の概要（和文）：

本研究では、道路交通、都市輸送、窓口、病院、飲食施設など多くの人々が相互利用するサービスインフラにおいて、利用者がサーバを介して予定を共有しつつも、個々の制約条件、目的関数に従って予定を最適化することで社会全体として混雑を低減させることを目的として、シミュレーションモデル、および予定調整方法を開発し、計算機実験を通してその有効性を確認した。

## 研究成果の概要（英文）：

In this research, we focused on the service infrastructure on a society, which is a set of facilities utilized by many citizens, and developed a simulation model with many citizen agents and service facilities for studying the way to reduce social congestion. In computer simulation model, the visiting plans of agents are shared via the central server and each agent plan is individually optimized by the information based on the server. Through the experiments, we showed that the social congestion is reduced by such information sharing.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,400,000	2,820,000	12,220,000
2010年度	4,300,000	1,290,000	5,590,000
2011年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2012年度	2,000,000	600,000	2,600,000
年度			
総計	20,100,000	6,030,000	26,130,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：知的エージェント

## 1. 研究開始当初の背景

道路交通、都市輸送、窓口、病院、飲食施設など、人々の行動の多くは社会に設置されたサービスインフラを利用することで成り

立っている。近年の諸問題を鑑みるに、提供されるサービスの質を維持したまま混雑による利用者の時間損失を最小化し、設備をダウンサイジングすることは急務である。携帯電話の普及により誰もがいつでもどこでも

情報世界にアクセス可能となった今、実世界のデータをリアルタイムに処理することで低混雑な社会を実現する新しい仕組みを提案することが重要性を増している。

本研究で焦点を当てるサービスインフラとは、不特定多数の利用者に対して、来訪をもってサービス提供を行う施設一般を指す。中には、飛行機のように事前の予約調整とその厳密運用に基づくものもあるが、多くは利用者の連続的で不確実な行動の中で利用されており、混雑低減のために予約や綿密な行動調整を行うことはなじまない。その一方で、道路や電車で代表されるように、互いに何らかの方法で利用のタイミングや代替案などを調整出来れば、利便性を損なうことなく混雑を低減させることが期待できるものも多い。しかし、残念なことに、携帯電話などの情報端末の普及を背景に社会的混雑を低減させることを目的とするオペレーションズ・リサーチ (OR) や計算機科学のモデルはあまり研究されておらず、研究の推進が必要である。

## 2. 研究の目的

そこで、低混雑社会を実現するための具体的方策を研究するために、サービスインフラと利用者群のマルチエージェントモデルを OR や計算機科学の新しい問題として提起し、社会のバックグラウンドに設置されたサーバと携帯端末をリアルタイムに利用する利用者群を前提とした行動調整の仕組みとその実現に必要な情報処理アルゴリズムについての研究を行う。

具体的に、下記の項目について研究を行う。

(1) 高速道路の各道路、都市輸送の電車、テーマパークのアトラクションなどのサービスインフラを待ち行列のネットワークとしてモデル化し、その上をエージェントとしてモデル化された数万～数十万規模の利用者のフローが流れる大規模シミュレーションモデルの開発

(2) 利用者がネットワークで接続された携帯端末を常備していることを前提とし、各利用者の嗜好や制約に基づいたナビゲーションと全体の混雑低減を実現させる仕組みを自律分散的な最適化系として構築

(3) 現実の高速道路、都市輸送網、テーマパークなどから典型的な混雑のテストベッドモデルを作成し、提案する仕組みが個人の行動原理の観点から受け入れられるものなのか、社会の混雑をどの程度低減できるのかに

ついてゲーム理論の観点から分析

## 3. 研究の方法

人々がサービスインフラを利用する状況を抽象化したモデルであるサービスインフラ利用モデルを構築し、計算機上に大規模モデルシミュレータを開発する。その意図は現実社会の忠実な再現ではなく、混雑の発生要因や特徴を検討する土台を構築することである。開発するモデルは下記の3つの要素から構成される。

●サービスインフラ：来訪した利用者に対してサービスを提供する施設等のモデルである。開始時間、終了時間、キャパシティ、サービス時間などのパラメータを持ち、待ち行列理論の「窓口」に対応する。ここでは、実社会のサービスインフラの運用形態を参考に、二つのタイプを想定する。(タイプ1) 随時運用型：来訪した順に順次サービスを提供する。サービス時間は固定値や確率分布に従う。キャパシティを超えた場合、待ち行列が発生する。(単純化された) 道路、各種窓口、飲食施設などのサービスインフラのモデル。(タイプ2) 時間運用型：来訪した順にサービスを提供するが、サービスの運行は与えられたタイムスケジュールに従う。電車、地下鉄、映画館などのサービスインフラのモデル。

●サービスインフラネットワーク：サービスインフラを有向グラフとして接続したものであり、利用者の遷移可能性を表す。多くの場合、サービスインフラの物理的な結合状態に対応する(道路網や交通網など)。シミュレーションでは、大規模な利用者群がサービスインフラネットワーク上を実際に移動し、サービスを受ける。

●利用者モデル：サービスインフラを利用する存在であり、参入・退出の時刻、場所に関する制約、利用されるサービスインフラに関する制約をもつ。行動目的は、与えられた制約条件を満たす一連の行動を待ち時間が最小となるよう実行することである。現実社会ではそれぞれの利用者が独自に意思決定するが、利用者の完全合理性を仮定することは現実的ではないので、ここでは携帯端末が示すナビプランは利用者の判断を上回っているものと仮定し、利用者はそれに従ってサービスインフラを移動するものとする。

上記のサービスインフラ利用モデルでは、高速道路や都市通勤、テーマパークなどを想定して、シミュレータ上に行動調整システムを構築し、混雑低減のための具体的方策を探る。行動調整システムは、利用者個人から見

た場合は自身の行動プランが最適化される必要があり、系全体から見た場合は混雑の低減やサービスインフラ利用の効率化に結びつく必要がある。ここでは、利用者個々の携帯端末に組み込まれる行動プラン最適化システムと、待ち時間予測システムの二つが連携することにより行動調整を行うシステムを構築する。

●行動プラン最適化システム：個々の携帯端末上でリアルタイムに最適化問題を解き、ナビプランを提示する。行動プランとは、利用者が使用するサービスインフラの順番を表す。最適化問題は、利用者の行動プランを解とし、合計待ち時間の最小化を目的とする。解空間は与えられた制約条件と最適化時まで実行された利用者の行動から決定されるが、待ち時間は未来の状態に関するものであり他者の行動に相互に影響を受けるため正確に計算できない。ここでは（利用したいサービスインフラ、到着予定時刻）を待ち時間予測システムに問い合わせることで返答される予測待ち時間を利用し、合計待ち時間を推計する。待ち時間を最小化するものがナビプランとなる。ナビプラン決定後、そのプランを待ち時間予測システムに連絡する。

●待ち時間予測システム：各サービスインフラの未来の待ち時間に関する問い合わせに返答するシステムである。ここでは、未来の状態を外挿するのではなく、行動プラン最適化システムより受け取った各利用者のナビプランから各サービスインフラの時刻毎の到着率をボトムアップに計算し、予測待ち時間を計算する。利用者の行動がナビプランから逸脱しなければ到着率とサービス率をもとに正確な未来の予測待ち時間を計算することができる。

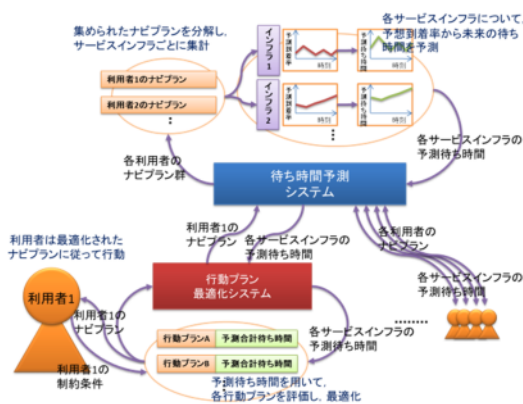


図 1：行動調整システムの概念図

図 1 は上記のシステムの概念図である。多

数の利用者の端末に実装される最適化問題がサーバを介して多数結合され、全体が自律分散的最適化システムとして稼働するように設計されている。動作に関して懸念される点は、個々の最適化計算が不安定となり全体として安定しないことであるが、システムパラメータ調整によって解決できるめどが立っている。また、稼働中に参加していない利用者の情報不足が懸念されるが、それらはシステムのダイナミクスから切り離されているので、統計的もしくは強化学習的な手法によって影響を適応的に補うことが可能であると考えている。具体的実験シナリオは下記を想定している。

- ・テーマパークモデル：大型のテーマパークにおける混雑を想定。サービスインフラの利用順序に自由度。

- ・高速道路モデル：中規模都市に設置された高速道路における混雑を想定。目的地まで到達する道路選択に自由度。

#### 4. 研究成果

本研究は、道路交通、都市輸送、窓口、病院、飲食施設など、人々の行動の多くは社会に設置されたサービスインフラを利用する。これらの状況をゲーム論的にモデル化すること、およびナッシュ均衡・パレート最適解の観点から分析することを目的としている。今まで、モデルの基礎に巡回セールスマン問題を採用し、「動的巡回セールスマン問題 (Dynamic Traveling Salesman Problem)」という新たなインフラ利用モデルを提案した。

ここでは、各セールスマンは従来の T S P と同様に都市の巡回時間の最小化を目的とするが、各都市間の路を共有しており、同時に複数のセールスマンが同じ路を利用した際にはその巡回時間が利用人数に応じて長くなるモデルである。セールスマンが単独の時は従来の T S P と一致し、また各セールスマンは巡回時間が動的な以外は従来の T S P と同様の最適化手法がそのまま利用できる。解構造の分析および最適化手法に従来 T S P の研究成果を存分に利用できる利点がある。ここでの成果として、セールスマンの数を変動させた際の組み合わせの複雑性と解構造の関係、問題の大規模化へ向けた実時間での探索手法の構築、ジョブショップ問題やフローショップ問題などへの適用の可能性、および分散的最適化における社会の公平性などについて議論が進んでいる。具体的には、ナッシュ均衡が存在する意義、price of anarchy の観点からの公平性の議論などを行

った。

さらに、多数の合理的エージェントが自己の利得を最大化するという観点で社会的なインフラの利用について調整するというモデルの理論的検証を行ってきた。ここでは、単に一度きりのゲームとしてそれぞれのエージェントが分散大規模な最適化問題に参加するという環境ではなく、エージェントの流入出、制約条件の変化、他のエージェントの戦略に呼応した自身の戦略の変更などをリアルタイムで調整する必要のあるオープンな環境での自己の最適化の集合としての社会的インフラの調整という状況について扱ってきたことになる。

このような状況下において、エージェントが参加するゲームの全貌がそもそも見えない中でゲームの構造に関する検証、それぞれのエージェントの最適化能力と社会全体の調整能力に関する検証、などについて一定の知見を得てきた。

さらに、サービスインフラ利用の具体的モデルとして、テーマパークモデルと高速道路モデルについてシミュレーションを開発した（図2、図3）。それぞれのモデルにおいて、インフラ利用に個人的選好を設定して利用をシミュレーションした際、本研究で提案する行動調整システムを利用しない場合は混雑が偏ったり、振動したりするが、調整を行うことによって混雑が平準化され、システムを利用しないときと比較して5~8%程度混雑を低減することについて確認した（図4）。

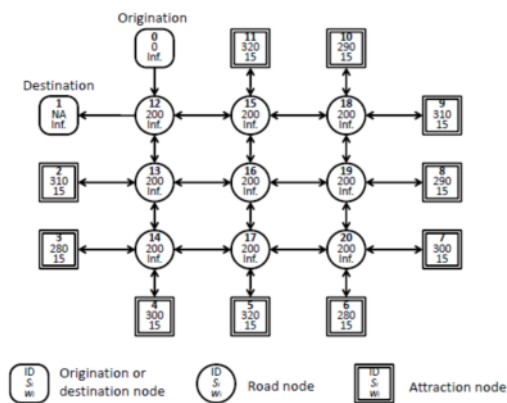


図2：テーマパークモデルのネットワーク図

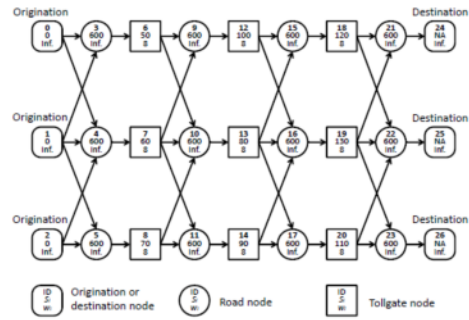


図3：高速道路モデルによるネットワーク図

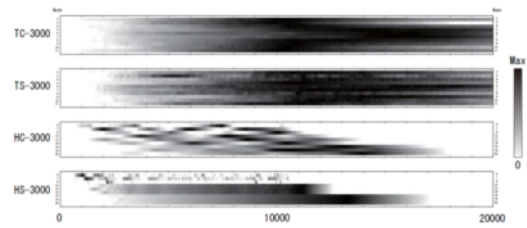


図4：テーマパークモデル、高速道路モデルにおける混雑度の時系列変化

さらに、より社会応用可能な具体的問題としてデマンドバスにおける最適化問題への理論適用性の検討を行った。デマンドバスは、路線バスとタクシーの中間的存在で、1台のバスで多数の乗客の自由な乗降車をサポートする形態の交通システムである。バスとして走行する経路選択の際に、多数の乗客の要求や制約条件を満たしつつも社会的に最適な経路をリアルタイムに実現する必要があり、これまでに研究してきた理論を活用できる。

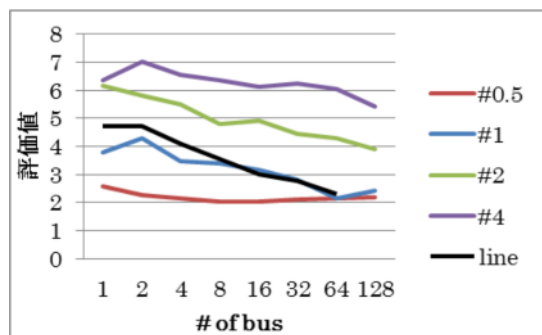


図5：バスの台数と平均デマンド達成時間

次世代の公共交通システムとして注目されているオンデマンドバスについて、従来の平均デマンド達成時間に加えて平均徒歩移動時間、平均バス待ち時間、平均バス乗車時間、乗客率という観点から分析しオンデマンドバス設計において必要とされる検証項目に

について多角的な知見を与えるためシミュレーション実験を行った。その結果、平均デマンド達成時間はどちらとも言えないが、主にバス乗車時間では固定路線バスに、その他ではオンデマンドバスに優位性があることがわかった (図 5)。

さらに、発展的課題として、多人数からなる行動調整のベースとなる意思決定について、**Analytical Hierarchy Process** を利用した調整方法について選択肢の選択方法に関する効率的な手法を開発し、提案を行った。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① Tadano Yumi, Kawamura Hidenori, Suzuki Keiji, Ohuchi Azuma: Comparison Support Method for Analytic Hierarchy Process, ASOR Bulletin, Vol. 29, No. 4, pp. 48-59 (2010) (査読有り)

[学会発表] (計 17 件)

- ① 金正福, 川村 秀憲, 鈴木 恵二: 大規模エージェントモデルの実装, 第 22 回インテリジェントシステムシンポジウム (FAN2012), 1B1-1, 沖縄, てだこホール (2012/8/30)
- ② 川村 秀憲, 鈴木 恵二, 山下 晃弘: 社会サービスのプラグイン研究とスマートシティ, 日本ソフトウェア科学会第 29 回大会, CD-ROM, 2C-3, 東京, 法政大学小金井キャンパス (2012/8/22)
- ③ 小野 良太, 川村 秀憲, 鈴木 恵二: オンデマンドバスシステム設計へ向けたシミュレーション評価, 2012 年度人工知能学会全国大会 (第 26 回) JSAI2012, 3F2-OS-10-5, 山口, 教育会館 (2012/6/14) (pdf)
- ④ 小野 良太, 川村 秀憲, 鈴木 恵二: 大規模混雑ゲームにおける資源配分の検証, 合同エージェントワークショップ & シンポジウム 2011 (JAWS2011), 熱海, 熱海後楽園ホテル, CD-ROM-68 (2011/10/27)
- ⑤ 小野 良太, 川村 秀憲, 鈴木 恵二: 共有資源利用における個別最適化と全体最適化の比較, 第 23 回自律分散システム・シンポジウム, 札幌, 北海道大学,

pp. 287-290 (2011/1/29)

- ⑥ Ryota Ono, Hidenori Kawamura and Keiji Suzuki: Game Analysis and Modeling the Social Utilization of Shared Resources Based on Traveling Salesperson Problem, The 14th Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES2010), Hiroshima (Japan), Miyajima Morinoyado, pp. 258-262 (2010/11/19)
- ⑦ Ryota Ono, Hidenori kawamura and Keiji suzuki: Extended TSP model as Conflicting Resource utilizations by individual optimizers, Proceedings of SICE Annual Conference 2010 in Taiwan, Taipei (Taiwan), The Grand Hotel, pp. 1153-1158 (2010/8/19)
- ⑧ 小野 良太, 川村 秀憲, 鈴木 恵二: TSP に基づく共有資源の社会的利用モデルの提案と分析, 2010 年度人工知能学会全国大会 (第 24 回) JSAI2010, 長崎, 長崎ブリックホール, 2I1-OS5-8 (2010/6/10)
- ⑨ 小野 良太, 川村 秀憲, 鈴木 恵二: TSP に基づく共有資源の社会的利用モデルに関する研究, 情報処理学会研究報告, 2010-ICS-158 (知能と複雑系研究会), ニセコ, ニセコ昆布温泉ホテル (2010/3/1)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川村 秀憲 (KAWAMURA HIDENORI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授

研究者番号: 60322830

### (2) 連携研究者

鈴木 恵二 (SUZUKI KEIJI)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号: 10250482