

令和 3 年 8 月 17 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17H03323

研究課題名（和文）ITSに対応した新しい交通ネットワーク分析手法の研究

研究課題名（英文）A study on a new analytical method for intelligent transport systems

研究代表者

宮城 俊彦（MIYAGI, TOSHIHIKO）

岐阜大学・工学部・特任教授

研究者番号：20092968

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 10,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、レベル3の自動走行支援システムが実現した社会を前提にした道路交通ネットワーク分析手法を提案することを目的としている。不確実で動的に変化する環境においては、各車両は交通情報を利用して外部環境の効率的学習し、行動するエージェントである。その行動は混雑ゲーム理論や強化学習そして確率近似理論を援用して記述できる。本研究で提案する交通ネットワーク・シミュレーション手法は、これらの理論に基づくマルチエージェントモデルであると同時に実用規模のネットワークにも適用可能な応用可能性をもつ。交通状態推定や構造モデルのパラメータの推定など、実用化に当たった課題に対しては深層学習を利用を提案している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究のアプローチは、従来の長期的、静学的視点での交通計画の立案のためではなく、短期的、動的に変化する環境での需要マネージメントを前提にした交通管理計画を想定している。こうした状況下では、ベストな状態を達成する最善行動ではなく、前よりもよい状態を移行する最良行動を決定する分析枠組みが必要になる。本研究は、この目標を達成するための理論的枠組みと分析手法を提案している。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to propose a new method for analyzing road traffic networks based on the premise of a society in which Level 3 automated driving support systems are realized. In particular, in an uncertain and dynamically changing environment, each vehicle is regarded as an agent that uses traffic information to learn the external environment and act efficiently in there. Their behavior can be described using congestion game theory, reinforcement learning, and stochastic approximation theory. The traffic network simulation method proposed in this research is based on these theories, and is a multi-agent model with applicability to practical-scale networks. We propose the use of deep learning to address practical issues such as estimates of the traffic conditions and estimation of structural model parameters.

研究分野：土木計画学・交通工学

キーワード：経路選択行動 ゲーム理論 動的交通量配分 交通流特性 強化学習 深層学習 自動走行支援システム 便益計測

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1．研究開始当初の背景

自動運転支援システムの発展はめざましく、自動車は単なる移動手段ではなく情報を介して個々の意思決定者が connected する道具へと進化しつつある。また、MaaS に見られるように自動車以外の交通手段の交通状態の動的変化を分析する技術が必要不可欠になりつつある。一方、従来型の交通システム分析手法は施設供給計画を主たる目的としているため、長期的かつ静学的分析に重点を置いてきた。また、交通情報の果たす役割を軽視しているため交通システムの利用者は一様で、同じ情報と価値基準の下で行動する均質エージェントモデルであり、新しいモビリティ革命に対応できなくなっている。

2．研究の目的

本研究は、レベル 3 の自動走行支援システムが実現した社会を前提にした道路交通ネットワーク分析手法を提案することを目的としている。特に、不確実で動的に変化する環境においては、個々の車両は交通情報を利用して外部環境の効率的学習し、行動するエージェントであると想定される。その行動は混雑ゲーム理論や強化学習そして確率近似理論を援用して記述できる。本研究で提案する交通ネットワーク・シミュレーション手法は、これらの理論に基づくアプローチであり、マルチエージェントモデルであると同時に実用規模のネットワークにも適用可能な応用可能性をもつ。交通状態推定や構造モデルのパラメータの推定など、実用化に当たっての課題に対しては深層学習を利用することを提案している。

本研究のアプローチは、従来の長期的、静学的視点での交通計画の立案のためではなく、短期的、動的に変化する環境での需要マネージメントを前提にした交通管理計画を想定している。こうした状況下では、ベストな状態を達成する最善行動ではなく、前よりもよい状態を移行する最良行動を決定する分析枠組みが必要になる。本研究は、この目標を達成するための理論的枠組みと分析手法を提案しており、以下の 3 つの点からアプローチする。

- (1) マルチエージェント交通シミュレーションモデルの実用化
- (2) 自動走行システム導入に伴う道路パフォーマンス特性の分析
- (3) 自動走行システム導入の便益計測手法の開発

3．研究の方法

本研究の理論の根幹をなす考え方は、混雑ゲームの理論、強化学習および確率近似理論である。エージェントは日々の交通行動選択において自己が利用可能な交通情報を利用して、外部環境を学習するとともに漸近的な最適化行動をとる。こうした学習行動は、環境のランダム性のため常に最適な決定を導くとは限らないが、環境を学習する適切な行動ルールを与えれば、漸近的に安定的なシステムに移行し、あたかも静学的環境下での最適化行動に類似した状態に至る。この動的過程は微分包含で表されるが、ゲーム理論における一般化された仮想プレイを用いれば個々のエージェントを漸的に Nash 均衡に導く。また、一般化仮想プレイは、確率近似理論を用いることで表現できる。こうして得られるネットワーク・シミュレーション手法を漸近的最適応答 (Adaptive Best Response : ABR) モデルと呼ぶ。ABR の実用化には交通状態のモデル化やモデルパラメータの推定などの問題が生じる。本研究では、ABR と深層学習 (Deep Learning, DL)

を組み合わせることによってこの問題の解決を試みている。

4. 研究成果

研究目的に対応した成果を以下に要約する。

(1) マルチエージェント交通シミュレーションモデルの実用化

ABR アルゴリズムの実用化に関連して以下の2つの側面を検討した。第一に、規模の大きなネットワークに適用可能のようにアルゴリズムを校正する。このために交通ネットワークにおけるエージェントシミュレーションモデルで知られる SUMO と ABR モデルを Python で統合した。SUMO そのものはかなり大きな交通ネットワークに適用できるが、シミュレーションの収束状況を確認するため、交通配分などのテストに利用される Sioux Falls ネットワークから抽出したネットワーク(図1)を用いて収束性確認を行った。フローとコストの変動を図2に、また、平均利得(負のコスト)の推定値の実績値を図3に示す。SUMO はセルオートマトンモデルであり、コストは確率的に変動する。また、交差点での待ち時間もランダム要素であるため、経路所要時間は図3の中段に示すように常に変動している。しかし、ABR アルゴリズムによって経路の所要時間(負の利得)の期待値は一定値に収束していく。

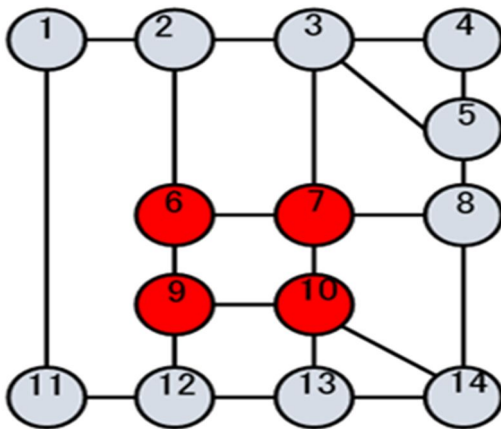


図1 Sioux Falls ネットワークから抽出されたシミュレーション用ネットワーク

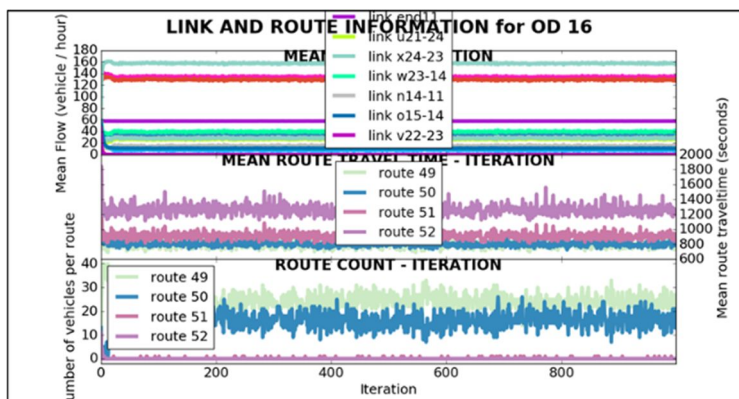


図2 フローの変動(上段, 下段)と経路コスト(中段)の変動

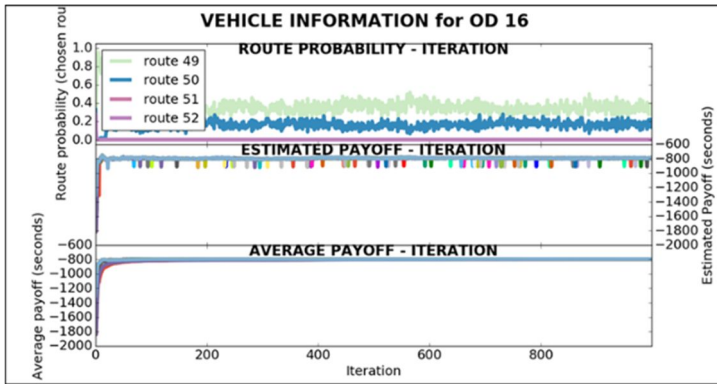


図3 利得推定値(中段)と平均利得

また、このシミュレーションを通して情報更新サイクルとシステムの収束速度にはトレードオフの関係があることが分かった。このトレードオフに関係する確率近似公式の感度パラメータを決定する有効な方法は存在しないため、確率近似論とは異なる収束基準の必要性が明らかになった。第2は、ABRモデルと深層学習の統合である。特に車線変更に伴う行動パラメータをDLアルゴリズムで求める方法を提案した。このため、まず、車線変更のセルオートマトンを作成した。車線変更モデルには、前方車両との車間距離、追い越し車線の前・後方車両の車間距離および対象車両の車両速度を入力情報とし、追い越し車線へ移動するか否かを決定する。通常モデルでは、追突やショックウェーブが発生しないような十分な視距をとるため、システムとしては必ずしも効率的ではない。上記の交通条件と車線変更をするか否かを決定する重み係数を求めるには深層学習が利用できる。すなわち、入力情報(s)のもとで行動(a)を次式で決定する。

$$\pi_{t+1}(s, w) = \arg \max_a Q(s, a) = \arg \max_a \theta(s, a)^T w$$

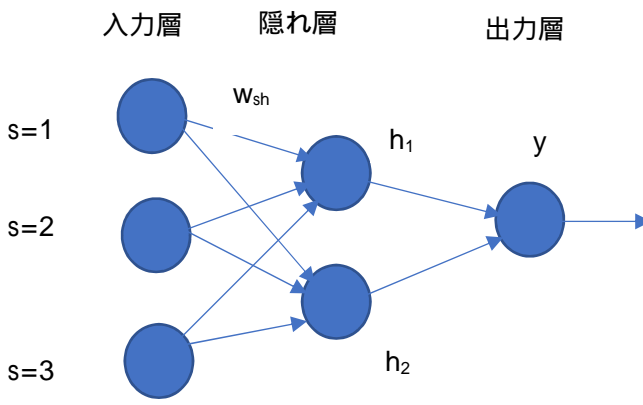


図4 隠れ層をもつニューラルネットワーク
車両速度、前方車両との車間距離、追越車線の車間距離等を状態変数(s)として、車線を変更するか否かの決定(a)を行うときの各状態間の重みを決定する。

本研究では、当初、高速道路での追い越しデータを用いたDLモデルの構築を予定していたが、種々の外部条件の変化からデータ入手が困難となったため、平行経路からなる非常にシンプルなネットワークに限定した分析となった。

(2) 自動走行システム導入に伴う道路パフォーマンス特性の分析
都市内高速道路においてほぼ毎日渋滞する区間を対象に、深層学習を用いた渋滞予測の可能性を

検討した。入力データは高速道路に設置された交通量感知器より得られる流入部のオキュパンシーをベースに6.5 km下流部の30分後のオキュパンシーの予測を行うものである。再帰型ニューラルネットワーク(RNN)のうち、LSTM(Long-Short-Term Memory)を用いて、1月1日から全体の90%までのデータを学習に利用、残りの10%(36日程度)のデータを検証に利用した。

結果を図5に示した。興味深いのは、図中中央に位置する、土曜日および日曜日の安定しない状況に対してもうまく予測ができていていること。また、2,3日目の昼間に一度交通状況が改善するケースについて、かなり正確に予測できており、交通状態予測に有効な手法であることが明らかになった。

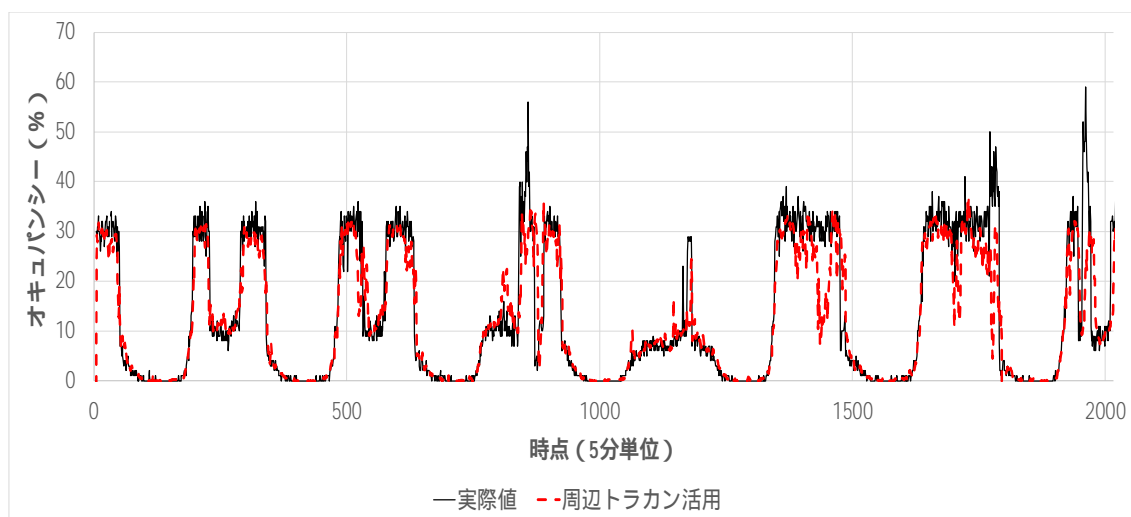


図5 DLを用いた交通渋滞予測

(3) 自動走行支援システムの便益評価

自動走行システムの便益については仮想市場法を用いた計測がいくつか試みられている。本研究では自動走行システムが与える便益について、個人属性の違いが与える影響に注目し、選択型コンジョイント分析によりWTPの算出を試みた。分析により得られた主な結論を列挙する。60歳以上の高齢者は若年層に比べて相対的に自動走行システムを愛好する。男性に比べて女性は自動走行システムを愛好しない。これは、通常自分が運転していない人が多く、金額を高く設定した自動走行システムを選択する必要がなかったためと考えられる。運転が得意でないと感じている人は得意と感じている人よりも自動走行システムを愛好しない。日常的に自動車を利用しないためであると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Peque, G, Miyagi, T. and Kurauchi, F.	4. 巻 16
2. 論文標題 Adaptive Learning Algorithms for Simulation-Based Dynamic Traffic User Equilibrium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 215, 226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-017-0150-6	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Hemdan, S., Wahaballa, A.M. and Kurauchi, F.	4. 巻 8
2. 論文標題 Quantification of the Hysteresis of Macroscopic Fundamental Diagrams and its Relationship with the Congestion Heterogeneity and Performance of a Multimodal Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Transportation Technologies	6. 最初と最後の頁 44,64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4236/jtts.2018.81003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kurauchi, F., Wahaballa, A.M., Othman, A.M., Uno, N. and Takagi, A.	4. 巻 16
2. 論文標題 Determinants of Travel Choice Behaviour with Travel-Time Variability in the Presence of Real-Time Information	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 1,13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-018-0157-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 杉浦聡志, 倉内文孝, 高木朗義	4. 巻 Vol.74, No.5
2. 論文標題 複数経路の確保を前提とした耐震化費用を最小とする緊急輸送道路計画	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 1258, 1292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejpm.74.1_285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 杉浦聡志, 御村まゆ, 高木朗義	4. 巻 Vol.74, No.5
2. 論文標題 道路縮減のためのネットワークデザイン問題における付加的評価の導入	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 1269, 1276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.74.1_269	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kaewklueglom, R., Kurauchi, F. and Iwamoto, T.	4. 巻 19
2. 論文標題 Investigation of Changes in Passenger Behavior Using Longitudinal Smart Card Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Intelligent Transportation Systems Research	6. 最初と最後の頁 155, 166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13177-020-00232-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Wahaballa, A.M., Kurauchi, F., Schmocker, J.-D. and Iwamoto, T.	4. 巻 147(7)
2. 論文標題 Estimation of Transfer Time Distribution Parameters with Automatic Fare Collection Data: Stochastic Frontier Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Transportation Engineering, A: Systems	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1061/JTEPBS.0000536	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Jiang Qian Ying (應江黔)
2. 発表標題 Computational Urban Economics - Optimization Techniques
3. 学会等名 The Fourth International Workshop on Integrated Land Use Transport Modeling, Beijing, China (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 宮城俊彦
2. 発表標題 離散的利用者均衡を求めるための漸近的最適応答アルゴリズム
3. 学会等名 土木計画学研究・講演集
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Miyagi, T., Peque, G. and Kurauchi, F.
2. 発表標題 An asymptotic best response model for finding Nash equilibria in transportation network
3. 学会等名 15th Summer Institute of the PRSCO (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Peque, G., Miyagi, T. and Kurauchi, F.
2. 発表標題 Effects of traffic information on drivers' day-to-day route choices
3. 学会等名 7th International Symposium on Dynamic Traffic Assignment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Peque, G., Miyagi, T. and Kurauchi, F.
2. 発表標題 Effects of travel-information update cycle in simulation-based traffic assignment
3. 学会等名 24th International Conference on Urban Transportation and the Environment (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金井大介, 杉浦聡志, 高木朗義
2. 発表標題 自動走行システムが高齢者にもたらす便益の計測
3. 学会等名 平成29年度土木学会中部支部研究発表会講演集, -42
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本達哉, 杉浦聡志, 高木朗義
2. 発表標題 動運転車の普及が将来の都市構造へ与える影響の定量的分析: 立地均衡モデルの適用
3. 学会等名 土木計画学研究・講演, Vol.60,
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sugiura, S., Nakashima, M., and F. Kurauchi,
2. 発表標題 Isolation Vulnerability Evaluation of Disaster Prevention Base on Road Network Based on Minimum (+A) Cu
3. 学会等名 The 24th International Conference of Hong Kong Society for Transportation Studies (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長尾将吾, 杉木直, 倉内文孝, 松尾幸二
2. 発表標題 マルチレイヤネットワークを用いた社会ダイナミクスモデルのシミュレーション
3. 学会等名 土木計画学研究・講演集, Vol.62
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杜然, 倉内文孝
2. 発表標題 深層学習による高速道路の渋滞ノウハウキャストに関する研究
3. 学会等名 令和2年度土木学会中部支部研究発表
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	倉内 文孝 (Kurauchi Fumitaka) (10263104)	岐阜大学・工学部・教授 (13701)	自動走行システムと道路パフォーマンス特性の分析手法開発
研究分担者	應 江黔 (Ying Jiang Qian) (30242738)	岐阜大学・地域科学部・教授 (13701)	自動走行システムと道路パフォーマンス特性の分析手法開発
研究分担者	高木 朗義 (Takagi Akiyoshi) (30322134)	岐阜大学・工学部・教授 (13701)	自動走行システム導入の便益計測手法の開発
研究分担者	杉浦 聡志 (Satoshi Sugiura) (30648051)	北海道大学・工学研究院・准教授 (10101)	自動走行システム導入の便益計測手法の開発

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------