

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 23 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560640

研究課題名(和文) 高速道路における動的かつ能動的な交通流マネジメント手法に関する研究

研究課題名(英文) Dynamic and Active Traffic Management for Expressways in Japan

研究代表者

塩見 康博 (Shiomi, Yasuhiro)

立命館大学・理工学部・任期制講師

研究者番号：40422993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、既存の高速道路ネットワークを最大限に活用し、交通管理者から動的かつ能動的に道路利用者に働きかけることにより、交通状態を適時的に最適な状態に維持することを目的とした交通流マネジメントに資する技術開発を行った。具体的には、動的に変化する交通状態を適切かつリアルタイムで把握するデータ同化システムの構築、動的な車線マネジメントの運用評価システムとしての多車線マクロ交通流モデルの構築、最適車線課金施策の課金額決定システム設計およびその効果検証、合流時の運転負荷を軽減するための合流支援システムの運用効果の評価を行った。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigate the efficiency of the dynamic and active traffic management including lane use optimization, which contribute to mitigating traffic congestion. First, the data assimilation system which combines the realtime data collected from loop detectors with 2.0 km intervals. Second, the multilane first order traffic flow model which represent lane flow equilibrium with the endogenous manner was developed. Third, the dynamic lane toll scheme optimizing the cross-sectional traffic throughput was defined and its effect was evaluated on the basis of the multilane first order traffic flow simulation. Finally, the notable merging assistance system which employs the realtime traffic monitoring system was evaluated by using driving simulator experiment.

研究分野：交通工学

キーワード：アクティブトラフィックマネジメント 多車線交通流モデル 動的車線課金 データ同化 ドライビングシミュレータ 交通流シミュレーション 確率的利用者均衡 高速道路

1. 研究開始当初の背景

高速道路の渋滞発生メカニズムは、交通需要量の交通容量に対する超過として単純化される。これに基づくと、渋滞の発生を抑制するためには、交通需要量を減らす、道路の交通容量を増やす必要があることは自明である。しかし、前者についてはTDMやMMの文脈で対策が講じられているものの、高速道路の交通需要は料金体系や経済状況に大きく影響を受けて変動するため、道路管理者側の権限で完全に制御することは困難である。また、後者に関して、道路の交通容量は主として道路幾何構造に規定されるため、それ自体を改善するのは中長期的、国家的な計画の策定が必要となり、とりわけ近年の財政難ではインフラそのものの改善策を取ることが難しい。そのため、道路管理者は、道路構造や交通需要は与件とした上で、時々刻々と変動する交通状況を迅速かつ的確に捉え、各状況に対して最大限に高速道路の機能を発揮させ、交通流の円滑性を可能な限り高い水準に維持する策を講じる必要がある。

このような取り組みは Active Traffic Management として全世界的に取り組みが進められている。これは、道路管理者側から運転者に対する情報提供・走行規制・運転支援を実施するなど動的かつ能動的に働きかけることによって、交通流状態を適時的に安定な状態へと改善する手法と解釈される。具体的には、可変制限速度 (Variable Speed Limit)、路肩車線開放 (Hard Shoulder Running) などがいくつかの国で実施されている他、日本でも車線利用率均等化や渋滞先頭情報の提供などが試験的に実施されている。しかしながら、これらの施策は試行錯誤的に実施されているに留まり、道路利用者の対応行動や交通流を改善する詳細なメカニズムは十分には明らかにされていない他、交通流を改善するために最適な施策の実行戦略は策定されておらず、交通管制として動的かつ能動的な交通流マネジメントを実現するための体系的な知見は不十分である。

2. 研究の目的

本研究では、ソフト的な枠組みで交通流を動的に制御し、ボトルネック容量の改善、および渋滞緩和に資するプラットフォームシステムの開発、およびその運用効果の検証に取り組んだ。具体的には、第一に、動的に変化する交通状態を適切かつリアルタイムで把握するため、車両感知器による定点観測データの活用を念頭としたデータ同化システムを構築した。第二に、高速道路単路部多車線区間において、動的な車線マネジメントの運用評価システムとしての多車線マクロ交通流モデルを構築した。第三に、Active Traffic Management の一方策として動的車線課金を念頭に置き、多車線交通流モデルによる最適車線課金施策の課金額決定システム、およびその効果の検証を行った。第四に

Active Traffic Management の一例として、合流時の運転負荷を軽減するための合流支援システムの運用効果について、ドライビングシミュレータを用いた評価を行った。

以上、多車線高速道路における Active Traffic Management 運用に関する、データ同化システム、施策評価運用プラットフォーム、施策実施時のドライバーの反応を統合することで、最適な運用方策の検討が可能となる。

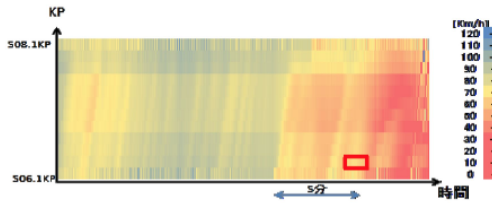
3. 研究の方法

第一の研究課題に関しては、名神高速道路の下り線、高槻バスストップ (BS) を含むサグ区間を対象に、CTM による交通流シミュレーションと、車両感知器のデータを融合したデータ同化システムを構築した。車両感知器は 2km の間隔をもって設置されている。ここでは、Extended Kalman Filter (EKF) を適用し、交通流システムの同定を行った。第二の研究課題に関しては、マクロ交通流モデルの一つである LWR モデルを、車線変更を考慮することで多車線区間に適用できるよう拡張した上で、車線毎に車線利用コストを定義し、道路利用者のコストが車線間で確率的に均衡する方向に車線変更が生じる、という仮定の下、モデル化を行った。また、車線別の車両感知器データを用い、交通量レベルに対応した車線利用率曲線を正確に表現するようモデルパラメータのキャリブレーションを行う手法を構築した。第三の研究課題では、限界費用課金理論を車線選択モデル上で考慮することで、確率的社会的最適状態を創出する課金額を定義し、当該金額を課金した場合の交通状態を確率的利用者均衡状態と比較し、その有用性を検証した。第四の研究課題では、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を通し、プロトコル法により外的な合流支援情報提供下における運転意図の生成メカニズムを解明すると共に、運転者属性の差異による情報への対応の差異を分析した。

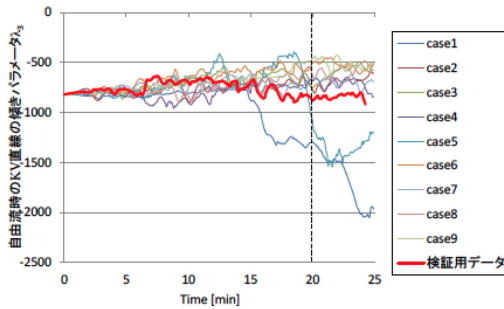
4. 研究成果

(1) データ同化システムの構築

名神高速道路下り線高槻 BS 付近サグ部を含む 2km の区間を対象に、CTM による交通流シミュレーションと区間上下流端に設置された車両感知器による交通量データを EKF を適用して同化するシステムを構築した。その際、Fundamental Diagram における自由流走行速度を縦断勾配の関数として定式化し、その勾配項係数をモデルパラメータとして考慮した。図 1(a) にデータ同化により推定した平均速度の時空間遷移図を示す。これより、車両感知器の設置されていない地点における速度変動が的確に再現されていることが確認できる。図 1(b) には、EKF で逐次調整された自由流時の密度に対する速度の感度パラメータの推移を示す。図中の case 1, 4 は



(a) 平均速度の時空間遷移図



(b) KV 曲線の傾きパラメータの変動

図 1 EKF による交通状態推定結果

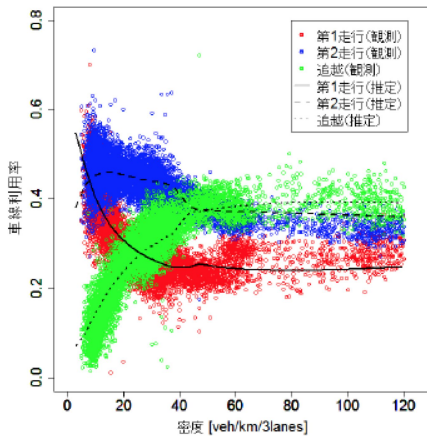


図 2 多車線マクロ交通流モデルによる車線利用率曲線の再現

それぞれ追突事故が発生したケース (time = 20 で事故発生) であり、両ケースでは事故発生時点の前後でパラメータ値が大きく変動している様子が覗える。

(2) 多車線マクロ交通流モデルの開発

確率的利用者均衡の枠組みを援用し、車線利用率が交通需要に応じて決定されるメカニズムを内包した多車線マクロ交通流モデルを構築した。当該モデルでは、各車両は車線毎に定義された効用（車線毎の交通密度、およびキープレフト原則破ることに関するコストにより定義）に対し、ロジット型で定義される確率に応じて逐次的に車線選択を繰り返すことで、均衡状態として車線利用率が導出されることを理論的に証明した。また、仮想的な道路区間を対象とした数値シミュ

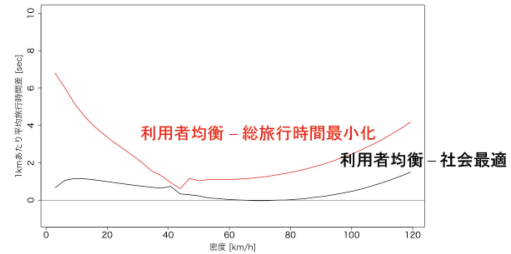


図 3 動的車線課金実施効果の比較

レーションにより、適切に車線利用率曲線を表現可能であることを示した。加えて、図 2 に示す通り、実観測データに基づいてパラメータをキャリブレーションすることにより、実観測データに適合した車線利用率曲線を推定できることが明らかとされた。

(3) 動的車線課金の効果検証

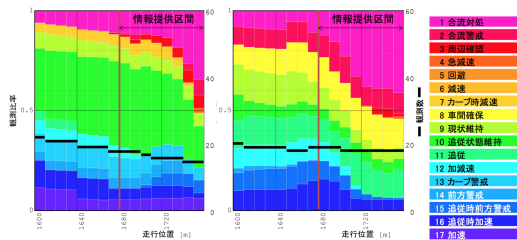
多車線マクロ交通流モデルにおいて、車線利用率曲線は確率的利用者均衡問題として定式化される。この等価最適化問題を定義し、確率的な社会最適状態、および確率的総旅行時間最小化状態を定義し、それぞれを導出するための限界費用を求めた。シミュレーションのタイムステップに応じて、適時的に最適な限界費用が車線毎に課せられるという仮想的な状況を想定した上で、各課金スキームによる平均旅行時間を比較した。その結果、図 3 に示す通り、課金によりすべての密度レベルで交通状況の改善が可能であることを示した。

(4) 合流支援情報提供の効果検証

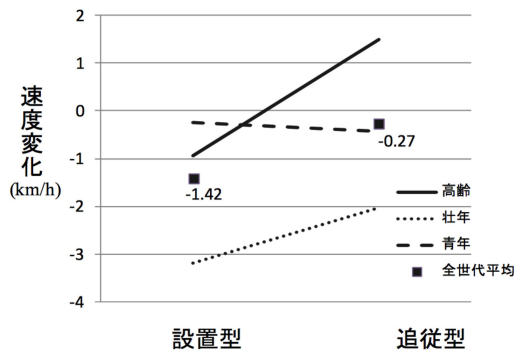
ドライビングシミュレータを用い、都市高速道路において合流支援情報を提供する、という Active Traffic Management の一事例を実施した場合のドライバー挙動について分析を行った。当該情報は、合流車両の存在を示す「設置型」の情報提供と、合流車両の存在位置に応じてライトが点灯し、それに同調することで円滑な合流を支援する「追従型」の情報提供の 2 種類を想定した。

まず、プロトコル法によりドライバーの運転意図を推定し、各情報提供が及ぼす影響を分析した。その結果を図 4(a) に示す。これにより、追従型では「合流警戒」に相当する運転意図を大幅に軽減させ、円滑・安心な運転支援に寄与していることが明らかとされた。また、個人属性（青年・壮年・高齢）毎の比較を通して、情報提供方法の違いにより、ドライバーの対応行動が異なること、とりわけ、高齢者の場合は追従型の情報提供を行うと、合流時に加速する傾向が顕著になる可能性が示唆された。

以上、本研究では、日本における Active Traffic Management の展開を視野にいれ、そ



(a) 運転意図の推移
(左：追従型，右：設置型)



(b) 個人属性による合流時速度変化の差異
図4 合流支援情報提供の効果検証結果

れに関わる意志決定支援プラットフォームとしての、データ同化システム・多車線マクロ交通流モデルの構築を行った。加えて、シミュレーション分析、あるいはドライビングシミュレータ実験を通して、動的車線課金、および合流支援情報提供という Active Traffic Management の方策実施による効果の検証を行った。

今後は、多様化する動的な交通施策の体系化を図ると共に、Connected, Automated vehicle の存在を念頭においた制御方式のあり方について検討していきたい。また、今後の実運用に向けた法制度上の課題の整理、ステークホルダー間の合意形成などについても研究を進める必要がある。

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7件)

- 1) Yasuhiro Shiomi, Tomoki Taniguchi, Nobuhiro Uno, Hiroshi Shimamoto, and Toshiyuki Nakamura: Multilane first-order traffic flow model with endogenous representation of lane-flow equilibrium, Proceedings of 21st International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 2015 【査読有】。(登載決定)
- 2) 塩見康博, 谷口知己, 宇野伸宏: 車線交通量の均衡メカニズムを内生化した多車

線交通流モデルの構築, 交通工学論文集 Vol.1, No.3, pp. 1-10, 2015 【査読有】. 10.14954/jste.1.3_1.

- 3) Yasuhiro Shiomi, Tomoki Taniguchi, Nobuhiro Uno, Hiroshi Shimamoto, Toshiyuki Nakamura: Simulating lane-changing dynamics towards lane-flow equilibrium based on multi-lane first order traffic flow model, Transportation Research Procedia Vol. 6, pp. 128-143, 2015【査読有】. 10.1016/j.trpro.2015.03.011.
- 4) 柳原正実, 宇野伸宏, 中村俊之: 運転意図に基づく外部刺激の影響分析手法 - 模擬走行実験における合流支援情報を例に -, 交通工学論文集(特集号), Vol.1, No. 2, pp. A_207-A_216, 2015 【査読有】. 10.14954/jste.1.2_A_207.
- 5) 塩見康博, 小園達也: 車線交通量の均衡状態を仮定した高速道路サグ部の車線利用特性の分析, 交通工学論文集(特集号) Vol.1, No.2, pp. A_158-A_164, 2014 【査読有】. 10.14954/jste.1.2_A_158.
- 6) 藤井大地, 塩見康博, 宇野伸宏, 嶋本寛, 中村俊之: フィードバック型交通状態推定手法の事故発生状況分析への適用可能性, 土木学会論文集 D3, Vol.70, pp. I_1067-I_1076, 2014 【査読有】. 10.2208/jscejipm.70.I_1067.
- 7) 山村啓一, 中村俊之, 宇野伸宏, 柳原正実, 河本一郎, 玉川大: 都市高速道路における年齢層に着目した合流支援情報提供時の行動分析, 土木学会論文集 D3, Vol. 70, pp. I_1051-I_1058, 2014 【査読有】. 10.2208/jscejipm.70.I_1051.

〔学会発表〕(計6件)

- 1) Yasuhiro Shiomi, 他4名: Multilane first-order traffic flow model with endogenous representation of lane-flow equilibrium, The 21st International Symposium on Transportation and Traffic Theory, 2015年8月5日, 神戸国際会議場(兵庫県・神戸市).
- 2) Yasuhiro Shiomi: Controlling lane traffic flow for managing uncertainty in traffic breakdown, 6th International Symposium on Transportation Network Reliability, 2015年8月2日, 奈良春日野国際フォーラム豊(奈良県・奈良市).
- 3) Yasuhiro Shiomi and Tatsuya Kozono: Calibrating Multilane First-Order Traffic Flow Model with Endogenous Representation of Lane-Flow Equilibrium, Symposium Celebrating 50 Years of Traffic Flow Theory, 2014年8月12日, Portland (USA).
- 4) 塩見康博, 小園達也: 車線交通量の均衡状態を仮定した高速道路サグ部の車線利用特性の分析, 第34回交通工学研究会研究発表会, 2014年8月7日, 日本大学(東

- 京都・千代田区).
- 5) Yasuhiro Shiomi, 他 4 名: Simulating Lane-changing Dynamics towards Lane-flow Equilibrium Based on Multi-lane First Order Traffic Flow Model, 4th International Symposium of Transport Simulation, 2014 年 6 月 2 日, Corsica (France) .
 - 6) 塩見康博: 高速道路単路部における車線利用率に関する考察, 第 68 回土木学会年次学術講演会, 2013 年 9 月 4 日, 日本大学 (千葉県・習志野市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

塩見 康博 (Yasuhiro Shiomi),
立命館大学・理工学部・任期制講師
研究者番号: 40422993

(2) 研究分担者

山崎 浩気 (Hiroki Yamazaki),
京都大学・工学研究科・助教
研究者番号: 60612455

宇野 伸宏 (Nobuhiro Uno),
京都大学・経営管理研究部・准教授
研究者番号: 80232883

嶋本 寛 (Hiroshi Shimamoto),
宮崎大学・工学部・准教授
研究者番号: 90464304