

令和元年6月17日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04433

研究課題名(和文) 高速道路における日本式アクティブトラフィックマネジメントの体系化

研究課題名(英文) Theory on 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・准教授

研究者番号：40422993

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、変動する交通状態に即応する対策である可変制限速度(VSL)、動的車線マネジメント(DML)、速度回復誘導灯(PML)を日本式アクティブトラフィックマネジメント(ATM)に関する理論・実証分析を行った。その結果、i) 現状ではドライバーの規制速度遵守性は低いこと、ii) コネクテッド車両の介入制御によりVSLと同様の制御効果を得られること、iii) PMLの運用により交通渋滞を緩和することが可能であり、その要因としてドライバーの相対速度認知に影響を及ぼしている可能性があること、iv) 追越車線の利用に課金することでボトルネックの交通流率を改善できること、などを明らかとした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高速道路での交通渋滞は移動時間の増大による経済損失、生産性の低下だけでなく、環境負荷や事故リスクの悪化の要因となるなど、その解消・軽減は極めて重要性の高い課題である。2000年代中盤以降、欧米諸国ではActive Traffic Management(能動的交通マネジメント)とよばれる交通マネジメント手法が導入されているが、山地が多く高速道路の分合流以外の地点での渋滞が多発する日本でそれらが有効であるとは限らない。本研究では、日本の交通状況に即した有効性のある日本版ATMの理論体系を構築した点で学術意義・社会的意義があるといえる。

研究成果の概要(英文)：In this research project, we try to found the theory of Active Traffic Management localized in Japan (ATMJ) was developed. ATMJ is composed by variable speed limit (VSL), pace-maker light (PML), and dynamic lane management (DLM), which have been already partly implemented in the expressway in Japan and are expected to be accepted by drivers in Japan. The findings are as follow. i) the drivers in Japan do not tend to follow the speed limit of expressway and it is expected that VSL does not work as it is, ii) the intervention to the operation of autonomous vehicles can mitigate traffic congestion, iii) the optimal operation of PML significantly increase the breakdown flow rate and discharge flow rate, which might be because PML affects the cognition of relative speed to the leading vehicle, iv) the optimal and second optimal charging on the use of the median lane can increase traffic capacity at bottlenecks.

研究分野：交通工学

キーワード：交通流 高速道路 アクティブトラフィックマネジメント サグ 交通シミュレーション 可変制限速度 車線利用率 走光型視線誘導システム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

日本の都市間高速道路における渋滞損失時間は1.9億人・時間（年間で約10万人分の労働力に相当）と推計されており、多大な経済的損失を被っている。また、渋滞発生時には交通事故リスクが上昇することも明らかとなっており、適切な渋滞対策を講じる重要性は論を待たない。

近年、欧米を中心に実務展開されつつあるアクティブトラフィックマネジメント（Active Traffic Management. 以下、ATM）は時々刻々と変動する交通状況を多様なデータに基づいて的確にとらえ、交通管理者から能動的にドライバーに働きかけをすることにより、渋滞の緩和・解消、および事故リスクの削減を図るものである。日本の高速道路で実施されている車線利用率均等化に向けた協力行動喚起や渋滞先頭情報の提供、速度回復誘導灯などは、交通状況に応じ、ドライバーに運転行動の変容を促す点においてATMの1つと位置づけられよう。

しかしながら、これらの対策は試行錯誤的に実施されているにとどまり、必ずしも体系化・最適化はなされていないのが現状である。また、日本の道路交通事情、および法制度の現状を勘案すると、必ずしも欧米で展開されているATMが日本の高速道路に適用可能であるとは限らず、また、その有効性についても自明ではない。とりわけ、日本の都市間高速道路では、交通渋滞の60%以上がサグなどの単路部ボトルネックで発生しているという欧米諸国とは異なる特徴を持つ。この点を明示的に考慮した日本式ATMのあり方を検討することは極めて重要性が高い課題である。

### 2. 研究の目的

本研究では以下の4項目に取り組んだ。

#### (1) 高速道路サグ部における渋滞発生メカニズムの解明

高速道路の交通渋滞要因の60%を占めるサグを起因とする交通渋滞現象の評価、およびその発生メカニズムの解析を行う。

#### (2) 可変制限速度の導入可能性の検討

高速道路では交通状況や天候・インシデントの発生などに応じて制限速度が変更されている。これらが交通流に及ぼす影響やドライバーの認知傾向を把握する。また、それらの結果を踏まえた、実効性の高い可変制限速度の運用方法を検討する。

#### (3) 速度回復誘導灯の運用効果の分析

国内の高速道路におけるボトルネック対策としての速度回復誘導灯（Pace Maker Light, PML）の設置事例は増加しつつあり、またその渋滞改善効果も報告されているが、その改善メカニズムの詳細は明らかとなっていない。本研究では実道実験とドライビングシミュレーター（DS）実験によりPMLがドライバーの運転行動に及ぼす影響を把握する。

#### (4) 動的車線課金に関する理論研究

サグなどの高速道路単路部ボトルネックでは車線利用率の偏りにより交通容量が損なわれていることが指摘されている。その是正を図るため、動的に車線に対して課金するための理論モデルを構築する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 高速道路サグ部における渋滞発生メカニズムの解明

ETC2.0の走行履歴データの分析により、高速道路上で速度低下する地点を把握するとともに、その要因をサグ構造との関係で分析した。また、セルトランスミッション法による交通流シミュレーションと車両感知器データ、およびGPSデータを用いたデータ同化システムを構築し、それを用いてマクロ交通流モデルパラメータを逆推定した。サグ部での渋滞発生前後においてパラメータの変動傾向を分析し、サグ渋滞発生要因の把握を行った。

#### (2) 可変制限速度の導入可能性の検討

高速道路の制限速度に関するアンケート調査をSAでの直接配布、直接回収方式、およびwebアンケートにより実施した。また、その結果に基づき、現時点で日本において可変制限速度を導入することの困難性を踏まえ、近い将来のコネクティッド・自動運転車両の普及を見据え、個別車両への介入制御による渋滞未然防止の可能性を検討した。

#### (3) 速度回復誘導灯の運用効果の分析

PML運用地点の交通容量の経年変動傾向について空間状態モデルを用いて分析を行い、PMLの効果を定量化する。また、阪神高速道路3号神戸線において実道追従実験、およびDSを用いた走行実験により、PMLが運転挙動に及ぼす影響を分析した。また、それに基づき、PMLの影響を考慮した追従モデルを構築し、PMLの有効性を検証した。

#### (4) 動的車線課金に関する理論研究

研究代表者らが構築した多車線マクロ交通流モデルの車線選択効用を理論的に求解することにより、交通密度を与件とした最適車線利用率を導出するとともに、それを実現するための車線毎の課金額を算出する問題を定式化した。また、数値実験により、提案した課金額決定方法を採用することの効果の評価した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 高速道路サグ部における渋滞発生メカニズムの解明

ETC2.0 を用いた分析では、昼に追越車線利用率と交通量が高い状態で、交通流中の個車速度分散が高くなった時に、速度低下を引き起こしやすいという結果が得られた。また、その他の条件が同一条件となる場合でも、速度分散のみが大きい際に速度低下しやすいことが明らかとなった。また、サグ部におけるデータ同化を用いた分析では、渋滞発生直前にはサグ底部直後の上り勾配部で交通容量が低下すること（図 1 参照）、渋滞発生直前に上り勾配区間において大型車の急激な速度低下が発生し、乗用車と大型車の速度が大きく乖離する状況（図 2 参照）が出現することを示した。

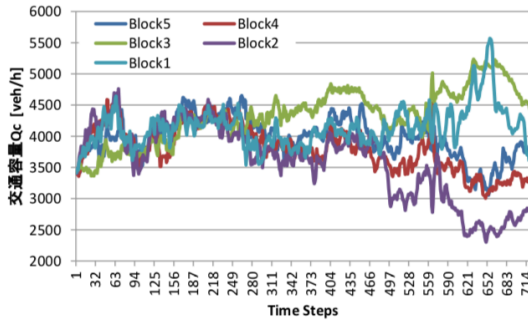


図 1 渋滞発生前後での交通容量推定値の変動

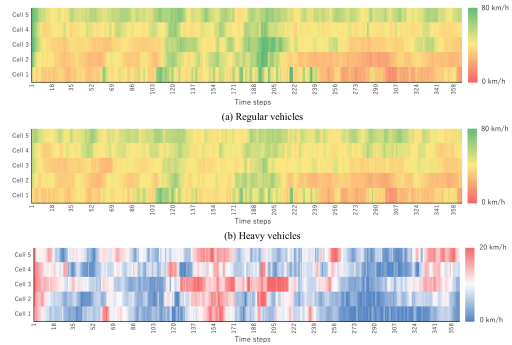


図 2 推定された車種別走行速度コンター図

##### (2) 可変制限速度の導入可能性の検討

アンケートに基づき、規制速度遵守に関わる共分散構造モデルを構築した結果、高速道路におけるドライバーの走行速度は、「利己的信念」、「規範意識」、「情報への意識」によって決定づけられていることが分かった（図 3 参照）。また、高速道路の単路部ボトルネックを対象に、渋滞発生後の交通容量低下現象を考慮した交通流変分モデルを構築し、それに基づき、特定車両の挙動を制御することにより、総遅れ時間を最小化するモデルを構築した。これにより、適切なタイミングで速度制御ができれば、渋滞発生を遅延させることが可能であることが示された（図 4 参照）。

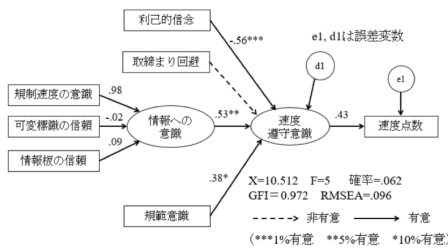


図 3 制限速度遵守に関わる共分散構造モデル

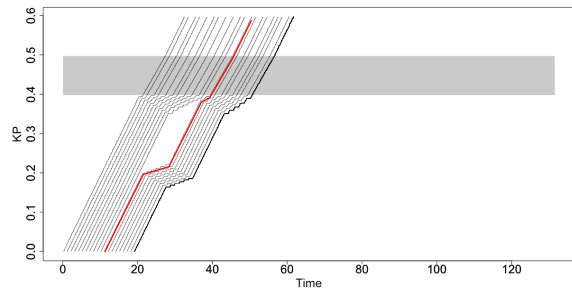


図 4 渋滞発生を抑制する自動走行車両の走行軌跡（赤線）

##### (3) 速度回復誘導灯の運用効果の分析

DS 実験の結果より、PML は渋滞からの加速時に有意に車頭時間を減少させること、また、その程度は発光体の発光形状とともに、運転者の発光体に対する印象が影響すること、が明らかとなった。実道実験より、PML がドライバーの相対速度認知に影響を及ぼすとの仮説に基づく追従モデルを構築し、パラメータ推定の結果、仮説を支持する結果が得られた（図 5 参照）。

交通容量に関する状態空間モデル分析により、PML 設置後に交通容量（渋滞発生時交通量、および渋滞発生後捌け交通量）が増加したことが示された（図 6 参照）。

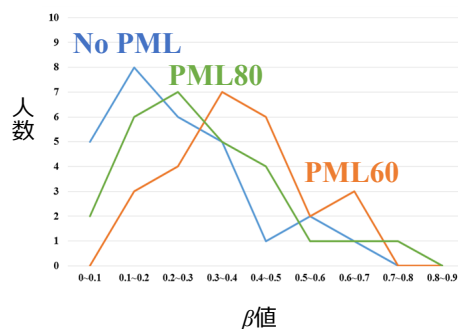


図 5 相対速度非線形項の推定値の分布

##### (4) 動的車線課金に関する理論研究

ドライバーが車線毎に定義された効用（あるいはコスト）に従って車線を選択する、という枠組みに基づくマクロ交通流モデルを構築し、車両一台が車線変更する際に生じる負の効用を埋

め合わせる形で課金（あるいは割引）することで車線利用率を調整し、全体としての交通流率を最大化する理論モデルを構築した。

また、それを実装した交通流モデルに基づく数値計算結果より、交通流率が改善し、渋滞の延伸を抑制させること（図7参照）、また、課金により収益を得られること、などを示した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計12件）

- ① 渡邊 秀, 柳原 正実, 小根山 裕之, 走光型視線誘導システムによる加速挙動時の車頭時間変化要因分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読あり, Vol. 74, 2018, pp. I\_1219-I\_1227  
DOI: [https://doi.org/10.2208/jscejpm.74.I\\_1219](https://doi.org/10.2208/jscejpm.74.I_1219)
  - ② Mariko Nakai, Kenichiro Nakazawa, Yasuhiro Shiomi, Representation of Sag Bottleneck Phenomena with a Commercial Microscopic Traffic Simulator, Transportation Research Procedia, 査読あり, Vol. 34, 2018, pp. 99-106  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.019>
  - ③ Moto Takashima, Yasuhiro Shiomi, Analysis on Sag Bottleneck Phenomena Based on Multiclass Traffic State Estimation, Transportation Research Procedia, 査読あり, Vol. 34, 2018, pp. 20-27  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.009>
  - ④ 田平 優太, 塩見 康博, 走光型視線誘導灯によるドライバーの追従挙動への影響分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読あり, Vol. 74, 2018, pp. I\_1301-I\_1313  
DOI: [https://doi.org/10.2208/jscejpm.74.I\\_1301](https://doi.org/10.2208/jscejpm.74.I_1301)
  - ⑤ 後藤 大輝, 中村 俊之, 宇野 伸宏, 都市高速道路における交通安全対策効果の長期的傾向に関する研究, 交通工学論文集, 査読あり, Vol. 4, 2018, pp. A\_258-A\_264  
DOI: [https://doi.org/10.14954/jste.4.1.A\\_258](https://doi.org/10.14954/jste.4.1.A_258)
  - ⑥ 渡邊 秀, 柳原 正実, 小根山 裕之, 渋滞時の加速挙動に着目した走光型視線誘導システムの影響分析, 交通工学論文集, 査読あり, Vol. 4, 2018, pp. A\_88-A\_96  
DOI: [https://doi.org/10.14954/jste.4.1.A\\_88](https://doi.org/10.14954/jste.4.1.A_88)
  - ⑦ 澤村 悠貴, 塩見 康博, 山本 隆, 山本 浩司, 高速道路におけるドライバーの規制速度遵守意識の分析, 交通工学論文集, 査読あり, Vol. 4, 2018, pp. A\_206-A\_215  
DOI: [https://doi.org/10.14954/jste.4.1.A\\_206](https://doi.org/10.14954/jste.4.1.A_206)
  - ⑧ 中山 達貴, 中村 俊之, 宇野 伸宏, Schmöcker Jan-Dirk, 商用車プローブデータを用いた潜在的事故危険性の把握手法の構築, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読あり, Vol. 73, 2017, pp. I\_1093-I\_1104  
DOI: [https://doi.org/10.2208/jscejpm.73.I\\_1093](https://doi.org/10.2208/jscejpm.73.I_1093)
  - ⑨ 高嶋 望都, 塩見 康博, データ同化を用いた高速道路サグ部における渋滞現象の分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), 査読あり, Vol. 73, 2017, pp. I\_1073-I\_1082  
DOI: [https://doi.org/10.2208/jscejpm.73.I\\_1073](https://doi.org/10.2208/jscejpm.73.I_1073)
  - ⑩ 増本 裕幸, 宇野 伸宏, 山崎 浩気, 亀岡 弘之, 山本 浩司, 山本 隆, ETC2.0 プローブ情報を用いた都市間高速道路における速度低下に関する分析, 交通工学論文集, 査読あり, Vol. 3, 2017, pp. A\_74-A\_83,  
DOI: [http://doi.org/10.14954/jste.3.4.A\\_74](http://doi.org/10.14954/jste.3.4.A_74)
  - ⑪ 塩見 康博, 北村彩菜, 交通容量の経年変動を考慮した速度回復誘導灯設置効果の分析, 交通工学論文集, 査読あり, Vol. 3, 2017, pp. A\_92-A\_100  
DOI: [http://doi.org/10.14954/jste.3.2.A\\_92](http://doi.org/10.14954/jste.3.2.A_92)
  - ⑫ 塩見 康博, 英国におけるアクティブ・トラフィックマネジメント, IBS Annual Report, 査読あり, 2016, pp. 87-92  
DOI: <https://www.ibs.or.jp/wp-content/uploads/2016/06/s2016-4-1.pdf>
- 〔学会発表〕（計12件）
- ① Hiroyuki Oneyama, Masami Yanagihara, Suguru Watanabe, Daiya Suzuki, The Effect of Moving Light Guide System Focused on Acceleration Behaviors from Bottleneck Based

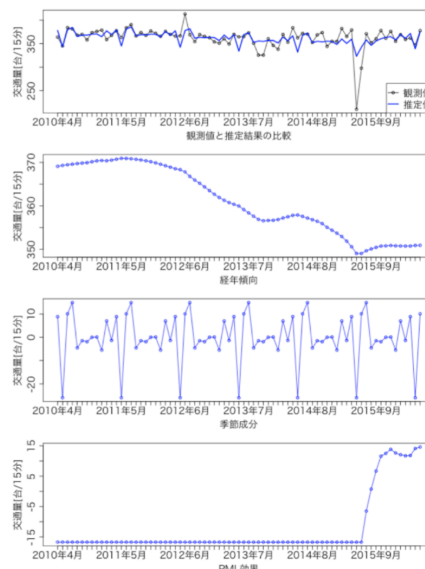


図6 捌け交通量に関する経年変動成分

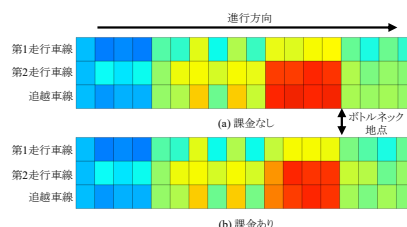


図7 多車線交通流のシミュレーション結果

on Shape and Installation Section of the Moving Light, 98th Transportation Research Board Annual Meeting, 2019

- ② 眞貝憲史, 鈴木英之, 児玉崇, 石井亜也加, 田名部淳, 塩見康博, 交通流変分理論の活用を通じた全体最適な速度制御による渋滞発生抑制施策の検討, 第 57 回土木計画学研究発表会(春大会), 2018
- ③ 神田晴, 柳原 正実, 小根山 裕之, DS 実験による走光型視線誘導システムの認識の違いと走行挙動の関係分析, 第 38 回交通工学研究発表会, 2018
- ④ Yasuhiro Shiomi, longitudinal variations of traffic capacity at sag and impact assessment of moving-light-guide-system, TRB 97th annual meeting, 2018
- ⑤ 塩見 康博, 湯浅 雅人, 高速道路における一般ドライバーの運転挙動特性の個人内変動と異質性, 第 56 回土木計画学研究発表会, 2017
- ⑥ 塩見 康博, 動的車線課金による交通流の最適化, 第 55 回土木計画学研究発表会, 2017
- ⑦ 劉彬, 柳原正実, 小根山裕之, 車線変更挙動と交通流の関係に関するシミュレーション分析, 第 37 回交通工学研究会研究発表会, 2017
- ⑧ 渡邊秀, 柳原正実, 小根山裕之, 渋滞時の加速挙動に着目した走光型視線誘導システムの影響分析, 第 37 回交通工学研究会研究発表会, 2017
- ⑨ 越膳 孝方, 塩見 康博ほか 10 名, 大和サグにおける渋滞予兆インデックスのみえる化実験の結果報告, 自動車技術会 2016 年春季大会, 2016
- ⑩ Yasuhiro Shiomi, Moto Takashimaa, Monitoring Traffic Flow Dynamics at Sags: Data Assimilation Approach, ISTS & IWTDCS 2016, 2016.
- ⑪ Hiroyuki Kameoka, Hiroyuki Oneyama, Mitsuaki Sakurai, Mitsuhiro Tsuji, Hideki Takahashi, The effect of the Congestion Relief by the Moving Light Guide System, 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 2016
- ⑫ Hiroki Yamazaki, Nobuhiro Uno, Hiroyuki Masumoto, Kouji Yamamoto, Hideki Takahashi and Kazumi Mabuchi, LoS Evaluation using ETC2.0 Probe-Data in Serious Traffic Jam Section, 23rd World Congress on Intelligent Transport Systems, 2016

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名: 宇野 伸宏

ローマ字氏名: (UNO, Nobuhiro)

所属研究機関名: 京都大学

部局名: 工学研究科

職名: 教授

研究者番号(8 桁): 80232883

研究分担者氏名: 井料 美帆

ローマ字氏名: (IRYO, Miho)

所属研究機関名: 名古屋大学

部局名: 環境学研究科

職名: 准教授

研究者番号(8 桁): 80469858

研究分担者氏名: 小根山 裕之

ローマ字氏名: (ONEYAMA, Hiroyuki)

所属研究機関名: 首都大学東京

部局名: 都市環境科学研究科

職名: 教授

研究者番号(8 桁): 90313105

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名: 柳原 正実

ローマ字氏名: (YANAGIHAR, Masami)

所属研究機関名: 首都大学東京

部局名: 都市環境科学研究科

職名: 助教

研究者番号(8 桁): 20739560

※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、研究者個人に帰属されます。