

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13846

研究課題名（和文）点過程理論による交通量変動メカニズムの記述とその交通制御への応用

研究課題名（英文）Traffic Volume Analysis and Its Application to Traffic Control Using Point Process Modeling

研究代表者

中西 航（Nakanishi, Wataru）

金沢大学・地球社会基盤学系・准教授

研究者番号：70735456

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：道路上の車両到着時刻を非集計データと捉えてモデル化を行ったとき、現状の交通制御手法に新たな展開をもたらすことができるかという問題意識のもとで研究を行い、以下の成果を得た。まず、断面交通量の非集計モデル化に向けて従前の点過程モデルの整理を行い、交通量に適用するための要件を整理した。続いて、複数の車両検知器における車両到着を点過程としてモデル化し、時空間的に推移する交通量変動をひとつのモデルで記述した。同時に、ミクロ-マクロ関係の整合性を高めるために、交通量を集計する時間単位や交通量の日内変動を記述する手法の精緻化と、流率密度関係を記述する手法の高度化を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は以下にまとめられる。まず、既存の他分野における点過程モデルを整理することで、交通量変動の記述に適用するための見通しを得た。また、対数線形モデルを用いた時空間構造化により、多地点・複数車線での観測データを単一のモデルで統一的に扱う枠組みを構築した。同時に、従来のマクロ交通流理論を発展させることで、ミクロ的分析の結果を実際の制御に反映させる足掛かりを築いた。本研究の社会的意義は以下に集約される。すなわち、交通量という道路上の最も簡単かつ基礎的な観測データを最大限活用するための数理的な枠組みを提示し、限られた予算の中で効率的な道路運用を行う可能性を示した点である。

研究成果の概要（英文）：The research question of this study was whether modelling vehicle arrival timings on the road as non-aggregate data could lead to new developments in current traffic control methods. The following results were obtained.

First, the previous point process modelling was reviewed and the requirements for its application to traffic volumes were organised. Vehicle arrivals at several vehicle detectors were then modelled as a point process, and spatio-temporal traffic volume fluctuations were described in a unified model. At the same time, in order to improve the consistency of the micro-macroscopic relationship, the time units in which traffic volumes are aggregated and the method for describing the within-day variation of traffic volumes were examined. Also, the method for describing the flow-density relationship was improved.

研究分野：空間情報，応用統計，交通工学

キーワード：交通量変動 点過程 時空間相関

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

#### (1) 一般的な背景

本研究の開始にあたって、道路上の車両到着時刻を非集計データと捉えてモデル化を行ったとき、現状の交通制御手法に新たな展開をもたらすことができるかという大きな問いを設けていた。これに関連する背景は以下の3点であった。

- (a) 渋滞のような交通状態変化の要因を具体的に説明する方法が不足していること：  
たとえば、マクロ交通流理論では、車群がボトルネックに到達し処理可能流率を上回ることによって渋滞が発生すると説明される。一方で、個別の渋滞はボトルネック以外でも発生し、特定の1台の挙動が誘発するともいわれている。道路空間の効率的運用・円滑な交通の実現に向けて、実現象の正しい理解に基づく適切な制御を行うことが望まれる。全車両の挙動を個別に観察し、交通状態、特に交通量の変化のメカニズムを解明することが重要である。
- (b) これまで上記の問題に対する具体的アプローチが断片的にしか行われていないこと：  
交通量の把握は、道路上に設置した車両検知器を用い、一定の集計時間(たとえば5分や60分)内に到着した車両台数と、平均速度や平均密度とを取得する方法で行われている。そのうえで、道路固有の流量-密度-速度の関係を推定し、交通需要との関係から渋滞等を予測・対策している。この方法はマクロ交通流理論に根ざす点で普遍性を有するが、集計データゆえに車両個別レベルでの分析に用いることは原理的に不可能である。
- (c) 交通量変動メカニズムが車両個別レベルで明らかになった場合に、具体的な交通制御の可能性が拓かれつつあること：  
ITS技術の進展とともに、道路-車両間あるいは車両-車両間での情報発信・通信をリアルタイムに行う環境は一般的になるだろう。そのため、渋滞に陥りそうな状況下で特定の車両の速度を引き上げたい場合や、車群の形成を避けるべく一連の車両の速度を一定以下に抑えたい場合など、様々な状況を想定した制御手法の構築は大きな意味を有する。

#### (2) これまでの研究との関係

渋滞現象の研究は膨大な蓄積がある。本研究との関連において整理するならば、交通を流体とみなすマクロ的なモデルと、交通を構成する個々の自動車に着目するミクロ的なモデルそれぞれの特性に着目する必要がある。前者のモデルのうち、特に交通工学で多く用いられるものは、いわゆる Kinematic Wave 理論あるいは LWR モデルに基づくものである。そこでは、渋滞はボトルネックにおける交通容量を超える需要が上流から流入した場合に発生すること、およびそれは交通密度が上昇することによる速度の低下として記述されることが特徴的である。一方で、後者のモデルのうち、特に物理学分野で発展してきたモデルは、交通流にわずかな攪乱(代表例はほんの少しの速度低下)が生じた際に、後続の自動車の速度が揺らぎ、これが増幅して全体としても速度が低下することで密度が上昇するプロセスとして記述される特徴がある。

両者にはそれぞれ限界がある。前者のモデルは実現象の理論化として明快であるものの、マクロモデルであるがゆえに現実に観測される渋滞発生を個別に表現することは困難である。後者のミクロモデルは個々の車両に着目したモデル化が可能であり現実の表現ができてきているものの、密度の上昇なしに速度の低下を仮定するために与える攪乱が何を意味するのか、いつどこでどのように発生するのかはやはり不明である。

本研究は、これらのギャップを埋めるための第一歩と位置づけられる。渋滞の発生は交通流率、すなわち断面交通量の減少として捉えることができる。この断面交通量は、道路上の検知器で集計して算出される。この際に、検知器は元来個々の車両の到着時刻という非集計データを観測していることに着目すれば、到着時刻や到着間隔をモデル化することが可能である。マクロモデルだけで表現の難しい個別の渋滞発生の記述を行うとともに、ミクロモデルでは説明の難しい攪乱を表現しうることが期待される。このモデル化には、点過程理論が適用できる。これは神経科学分野を筆頭に進展の著しい非集計データ発生頻度の時系列モデリング手法であり、その有用性は多数示されている。交通工学分野では、到着間隔等に着眼した研究が断片的に存在するものの、体系的に進展している状況にはない。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では以下の3点を行う。

- (1) 断面交通量の非集計モデル化に向けた点過程モデルの整理
- (2) 車両到着時刻のモデル化と渋滞判定指標の検討
- (3) 非集計モデル化による知見を交通制御に反映するためのマクロ的基礎分析

### 3. 研究の方法

本研究では、上記の目的を達成するため、目的に対応する以下の方法を用いる。

(1) 断面交通量を個別の車両に着目してモデル化する試みは、上述の通り断片的に行われてきたに過ぎない。他方で、点過程モデルも各学問分野での適用事例は膨大に存在するが、それらが統一的に整理されているわけではない。そこで、(a)従来の交通工学で行われてきたモデル化事例の調査と整理、(b)他分野で行われてきたモデル化のなかでも、とりわけ車両到着時刻に適用可能性の高い種類のモデルの調査と整理を行う。

(2) (1)を踏まえ、実際のデータに対してモデル化を行う。具体的には、点過程理論に基づくモデル化により各検知器における交通量の変動パターンを記述したうえで、対数線形モデルを用いて時空間相関構造を考慮し、複数の検知器の統計的な比較により渋滞発生などの交通状態変化を発見する。そして、渋滞に代表される交通状態変化を発生させる車両挙動の特定を試みる。

(3) (2)で得られる成果をマクロ的な観点から統合的に理解するための基礎分析を行う。具体的には、(a)交通量を集計する時間単位や交通量の日内変動を記述する手法の精緻化、(b)流率密度関係を記述する手法の高度化を目指す。

### 4. 研究成果

上記の目的・方法の各点について、以下の成果が得られた。

目的(1)について、点過程モデルの実現象への応用は表現したい時間方向への依存に応じて発展していることが分かった。たとえば、地震発生のモデル化においては、余震を表現するべくひとつの地震の発生が続く時間帯における発生確率を高めるような設計が必要となる。反対に、神経細胞の発火においては、物理的に一度発火した細胞は一時的に発火不能となるため、そのことを表現する設計が求められる。一方で、交通工学における車両到着時刻の分析は、単純な集計に基づく分布推定がほとんどで、前述のような特性を考慮したものはごくわずかであった。また、そこでも単純な確率分布の重ね合わせで表現されるに留まっていた。このことから、(a)より直接的に車両到着間隔を柔軟な関数でモデル化すること、(b)車両到着自体が後続の車両到着確率に与える影響を明示的にモデル化すること、の2点が重要であると確認された。

目的(2)について、複数の車両検知器における車両到着を点過程としてモデル化した。ここでは、(1)の成果を踏まえて車両到着直後には車両が到着しないこと、および直近の混雑状況に応じて車両到着確率が高くなることを考慮したモデルとした。そのうえで、各検知器どうして観測される車両到着の時間・空間的な相関構造を考慮し、対数線形モデルで非線形モデリングを行った。これにより、時空間的に推移する交通量変動をひとつのモデルで記述することが可能となった[中西, 2019(雑誌論文); 中西, 2019(学会発表)]。なお、この際には、高速道路の同一地点における走行車線・追越車線の同時到着のモデル化も行っている。同時に、全車両軌跡データを用いて車両個別の挙動を表現できるマイクロ追従モデルのパラメータ分布についての検討を行い[吉田・中西・朝倉, 2020]、現実的な車両挙動を踏まえた検討を可能とした。これらにより、交通量変動そのものを記述すると同時に、その変動の原因がいつどここの検知器で観測されるのかを示唆することができた。

目的(3)について、交通量そのものに着目した分析から以下の成果が得られた。まず、交通量を集計する時間単位について、現状多く用いられている5分単位に必ずしも統計的な有意性はなく、1分や3分を用いるほうが迅速に状態変化を検出できる可能性を示した。また、交通量の日内変動を記述する手法として、方向統計学を応用した確率分布のフィッティングを行った[Nagasaki・Nakanishi・Asakura, 2019; 長崎・中西・朝倉, 2019]。また、マクロ交通流理論の根幹をなす流率密度関係の記述に関して、全車両軌跡データを用いた場合の定常関係の判定方法の検討を行った。そのうえで、膨大に提案されている関数形のなかから当てはまりの良いものを検討した[Dahiya・Asakura・Nakanishi, 2022; Dahiya・Asakura・Nakanishi, 2020]。さらに、高解像度に地点別の関数を推定する方法を開発した[Nakanishi, 2022]。これらにより、より現実的に即した制御可能性に繋がる基礎的な成果を得ることができた。

なお、現時点で論文等の形で公表できていない成果についても、今後の発展的研究と併せて順次発表していく予定である。

また、当初想定とは別に、関連する以下の成果も得ることができた。

- 目的(2)に関連して、全車両軌跡データを統一的に扱うためのライブラリを開発した[眞貝・田子・瀬尾・中西, 2019]
- 目的(2)および(3)に関連して、我が国最大の全車両軌跡データを国際的に紹介した[Seo et al., 2021]
- 目的(2)および(3)を車両通行データに応用し、通行止めの影響分析を行った[安藤・イ・朝倉・中西, 2020]

- 目的(2)および(3)を歩行者回遊行動に応用し、都市内の移動軌跡分析を行った[山木・中西・杉浦, 2020]
- 目的(3)を歩行者流に応用し、避難行動の分析に応用した[Zhou・Nakanishi・Asakura, 2021]

これらはいずれも、研究成果の今後の展開に資するものと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 中西航	4. 巻 78
2. 論文標題 全車両軌跡データとスパースモデリングによる区間別Fundamental Diagramの推定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)	6. 最初と最後の頁 24 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.78.1_24	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Dahiya Garima, Asakura Yasuo, Nakanishi Wataru	4. 巻 8
2. 論文標題 Analysis of the single-regime speed-density fundamental relationships for varying spatiotemporal resolution using Zen Traffic Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Asian Transport Studies	6. 最初と最後の頁 100066 ~ 100066
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.eastsj.2022.100066	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zhou Zi-Xuan, Nakanishi Wataru, Asakura Yasuo	4. 巻 562
2. 論文標題 Route choice in the pedestrian evacuation: Microscopic formulation based on visual information	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 125313 ~ 125313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2020.125313	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中西航	4. 巻 419
2. 論文標題 高速道路の走行・追越車線における車両通過頻度の相関構造：対数線形モデルによる定式化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 統計数理研究所共同研究リポート	6. 最初と最後の頁 63-68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Seo, T., Tago, Y., Shinkai, N., Nakanishi, M., Tanabe, J., Ushiroguchi, D., Kanamori, S., Abe, A., Kodama, T., Yoshimura, S., Ishihara, M., Nakanishi, W.
2. 発表標題 Evaluation of large-scale complete vehicle trajectories dataset on two kilometers highway segment for one hour duration: Zen Traffic Data
3. 学会等名 2020 International Symposium on Transportation Data and Modelling (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dahiya, G., Asakura, Y., Nakanishi, W.
2. 発表標題 A Study of Speed-Density Functional Relations for Varying Spatiotemporal Resolution Using Zen Traffic Data
3. 学会等名 IEEE 23rd International Conference on Intelligent Transportation Systems (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山木聡一郎, 中西航, 杉浦聡志
2. 発表標題 スマートフォンアプリGNSSデータを用いた京都市内の観光流動分析
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表会 (春大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田光太郎, 中西航, 朝倉康夫
2. 発表標題 Newell型モデルのパラメータ推定による時間帯別の車両追従挙動分析
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表会 (春大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 安藤宏恵, イインホ, 朝倉康夫, 中西航
2. 発表標題 商用車プローブデータによる車線規制・通行止めが及ぼす影響分析
3. 学会等名 第18回ITSシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nagasaki, K., Nakanishi, W., Asakura, Y.
2. 発表標題 Application of the Rose Diagram to Road Network Analysis
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 眞貝憲史, 田子裕亮, 瀬尾亨, 中西航
2. 発表標題 大規模車両軌跡データ解析のための基礎的ライブラリの開発
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表会(秋大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長崎滉大, 中西航, 朝倉康夫
2. 発表標題 方向統計学を用いた道路ネットワークの分析
3. 学会等名 第59回土木計画学研究発表会(春大会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中西航
2. 発表標題 高速道路における車両通過頻度の時空間相関構造：対数線形モデルによる定式化
3. 学会等名 パーティクルフィルタ研究会3月研究集会
4. 発表年 2019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

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