

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2023

課題番号：19K11930

研究課題名(和文)プローブ情報による短時間交通流予測と速度制御に基づく高速道路の渋滞緩和支援方式

研究課題名(英文) Mitigation of highway traffic congestion using short-term traffic flow prediction from car probe information and velocity control

研究代表者

森野 博章 (MORINO, HIROAKI)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：50338654

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、プローブカーから収集した車速の時系列を入力データとする短時間時系列予測により数十秒後に渋滞が発生すると予測される時刻にVSL(Variable Speed Limit)による減速制御を開始する場合の渋滞緩和効果の性能を評価した。時系列予測には多変量LSTMを用いた。交通流シミュレーションの結果、実際に渋滞が発生した時点で減速制御を開始する従来のVSLよりも高い渋滞緩和効果が得られることが明らかとなった。またLSTMの入力変数として、速度予測対象車両の時系列データのみを用いるよりも予測対象車両の30秒前を走行する車両群の速度時系列データを組み合わせる方が良い特性が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

都市部および周辺部での交通渋滞は今後も社会問題として継続すると考えられるが、無線通信機能を前提とした遠隔制御車両や貨物車両の隊列走行を始めとする自動運転車両など、Connected Vehiclesは用途を明確化した形で今後台数が増加していくと考えられる。本課題の成果は、これらの車両の一部が交通流制御に参加することで大きな渋滞緩和効果が得られることを示しており、渋滞に伴う経済損失の回避も含めて社会的な意義は大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：This study evaluated performance of a deceleration control including variable speed limit (VSL) which is configured to start at that time when a traffic jam is predicted to occur in a few tens of seconds using short-term time series forecasting. Multivariate LSTM is employed for forecasting, with time-series data of vehicle speed collected from probe cars used as input data. The traffic flow simulation revealed that the traffic jam mitigation effect is higher than that of the conventional VSL where it starts at the time when a traffic jam actually occurs. The study also confirmed that the configuration using velocity time series of a target vehicle and a group of vehicles travelling 30 seconds ahead of the target vehicle is used for input variates of LSTM yields better performance than the configuration using only velocity time-series data of the target vehicle is used for input variable of LSTM.

研究分野：情報ネットワーク工学

キーワード：IoT(Internet of Things) スマートネットワーク スマートセンシング 交通流制御 V2X

### 1. 研究開始当初の背景

高速道路で発生する渋滞の多くは上り坂区間で一部の車両のドライバーが意識せずに減速させてしまうことで生ずることが世界的に知られている。NEXCO 東日本の報告によれば、東日本の高速道路で生ずる渋滞の約 40%はこのタイプである。この問題に対して渋滞を悪化させない交通流制御の一つとして Variable Speed Limit (VSL)に代表される減速制御がある。減速制御は渋滞列の後方の車両群が車間距離を保ったまま意図的に減速することで渋滞に流入する交通量を減少させ、渋滞箇所から前へ出ていく交通量の方を大きくすることで渋滞の早期解消を図る。減速の開始タイミングとその目標速度を対象車両に知らせる方法としては、道路脇に置かれる標識が一般的であるが、近年の無線通信機能を持つ Connected Vehicles (以下 CV)の増加に伴い、図 1 に示すようにインターネット上に置かれたサーバが対象となる場所を走行する CV に対して減速制御を指示する仕組みが注目され盛んに研究が行われている。この方式は CV がプローブカーとなり定期的に自らの速度と位置をサーバに報告しサーバがこれをもとに渋滞の発生箇所と時刻を検出できるため、標識を用いる方法とは異なり原理的には道路上の任意の場所で発生する渋滞に対して減速制御を適用できるメリットがある。

本課題の目的は CV を利用した減速制御において渋滞の発生を可能な限り早期に検知し、早期に減速を開始することでより高い渋滞緩和効果が得られる方式を開拓することである。

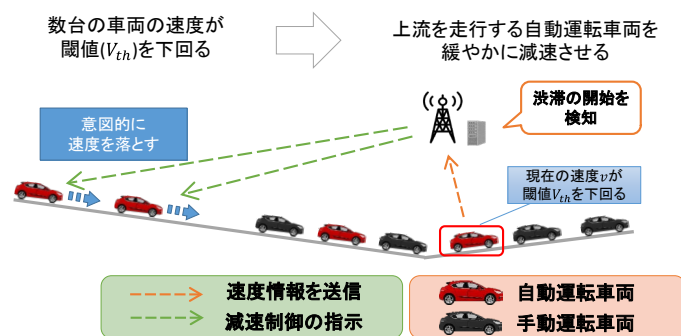


図 1 Connected Vehicles により行われる減速制御のシステムモデル

### 2. 研究の目的

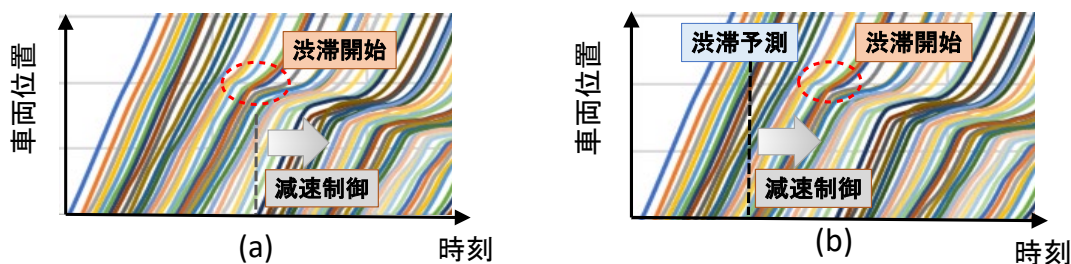


図 2 渋滞予測に基づく減速制御開始時刻決定の効果

図 2(a)(b)は高速道路をモデル化した交通流シミュレーションで、渋滞が発生する時刻の前後での各車両の位置と速度の時間変化をスペースタイムダイアグラム(STD)と呼ばれるグラフで表したものである。1本の線が車両1台に対応し、線の傾きが速度を表しており渋滞発生箇所では線の傾きが小さくなっている。従来の減速制御では(a)のように渋滞開始(破線の赤い丸で囲まれた箇所)が検出されるとその後方で制御を開始するため、渋滞の初期的な発生は防ぐことができない。本研究では、(b)のように渋滞の発生をその数十秒前に予測しその時点で減速制御を開始することで、渋滞の初期状態の発生を抑え、平均車両速度をより向上させることのできる方式を開発することを目的とする。

### 3. 研究の方法

#### 1) LSTM による速度時系列予測のモデル

速度を予測する対象の車両に関して、その車両自身の速度時系列に加えて車頭時間 $T_{di}$  ( $i =$

1,2...n) だけ前方を中心とし半径  $R$  の領域内を走行する車両群の平均速度の時系列を入力として現在時刻から  $T_{d_i}$  時間単位 (通常は秒) の将来の速度を出力するモデルを構築する.  $n$  は入力に使用する前方領域数である. 図 3 は  $n = 2$  の場合の例を示している. 各車両に関して一定時間ごとに予測車両速度を出力し, その値が定めた閾値  $V_{th}$  を下回ると渋滞が発生すると検知して減速制御を開始する. モデル構築において領域数  $n$  と予測対象車両から各領域の中心間の車頭時間  $T_{d_i}$  の値が予測性能に与える影響, および減速制御の性能に与える影響を評価する.

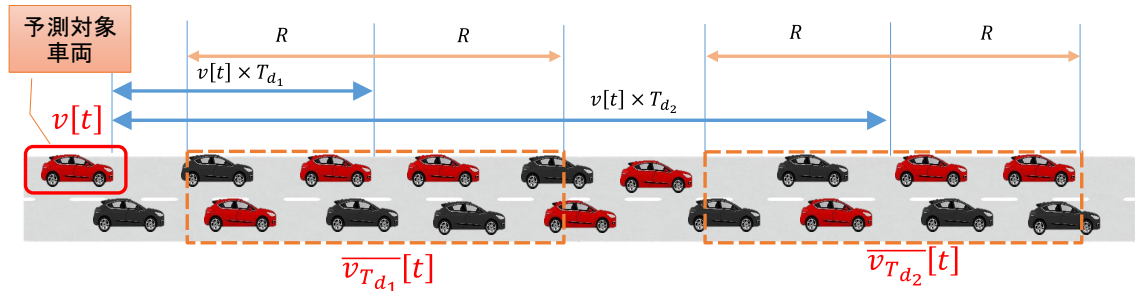


図 3 速度時系列予測の入力データ系列

#### 4. 研究成果

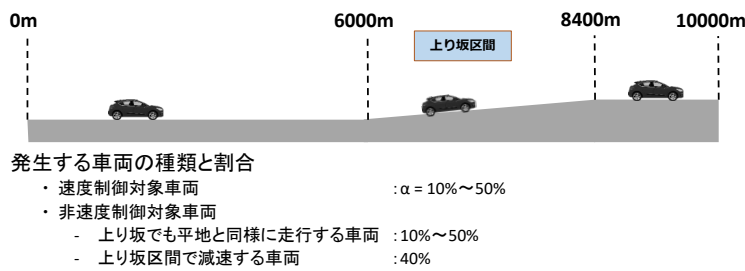


図 4 交通流シミュレーションのモデル

図 4 に示す 2 車線の道路モデルを用いて交通流シミュレーションを行い, 上り坂区間の車両の平均速度を指標として評価を行った. 車両追従モデルには一般的な IDM+ を用いた.

図 5 には速度時系列予測の誤差特性を示している.  $n = 0$  とは速度予測対象車両の時系列を入力として予測する設定を表している. この結果より,  $T_{d_1} = 30[\text{sec}]$  と設定することで  $n = 1$  と  $n \geq 2$  のそれぞれでほぼ同じ予測誤差の特性となることが確認された.

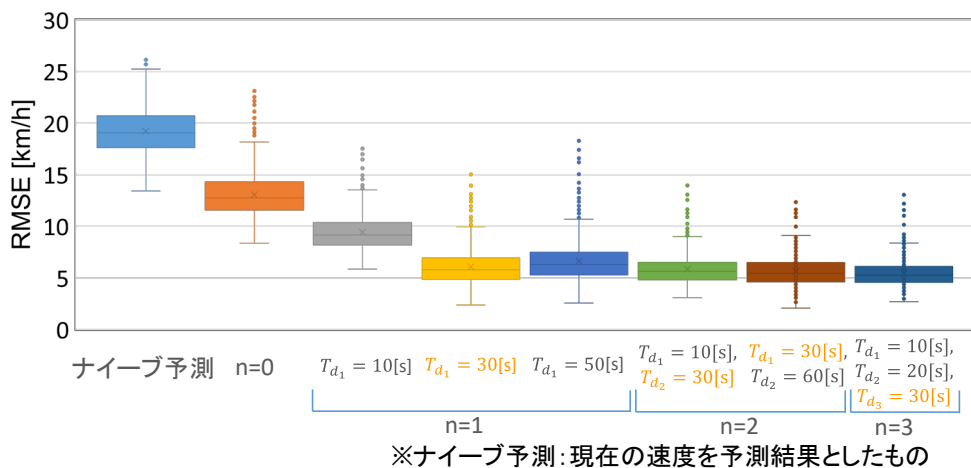


図 5 速度時系列予測の誤差評価

予測誤差の評価結果に基づいて,  $n = 1, T_{d_1} = 30[\text{sec}]$  として速度時系列予測を行い, 速度閾値

$V_{th} = 70\text{km/h}$  としてある車両に関する予測速度が $V_{th}$ を下回った場合に減速制御を開始するように設定して、上り坂区間での各車両の平均速度の分布を評価した結果を図6に示す。

グラフにおいて従来の減速制御とは時系列予測を用いず、ある車両の現在の速度が閾値 $V_{th}$ を下回っていれば渋滞発生と判断して減速制御を開始する設定を指し、減速制御開始後の目標速度は提案方式と同等の値に設定する。また全車両に占める制御対象車両の割合 $\alpha$ はこの結果では $\alpha=30\%$ とする場合と、理想値として減速制御開始後に全ての車両が制御対象車両となる( $\alpha=100\%$ )場合の2通りを設定して評価した。

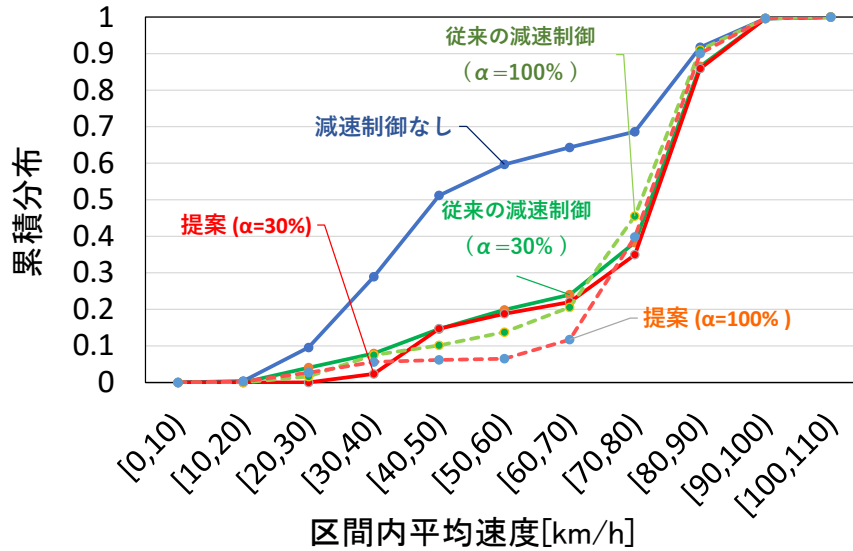


図6 上り坂区間での車両ごとの平均速度分布

図6に示す結果より、提案方式は従来の減速制御と比較して $\alpha=30\%$ の設定においては平均速度が40km/h未満の車両の割合が、 $\alpha=100\%$ の設定においては平均速度が40km/h以上50km/h未満の車両の比率がそれぞれ10%以上減少することが確かめられた。時系列予測を用いて制御開始時刻を決定し早期に制御を開始することで、従来の減速制御では防ぐことができなかった渋滞の初期状態の発生がなくなり、結果として低速車両が発生しなくなっている。

次に提案方式において、 $\alpha$ の値を10%から50%まで変化させたときの各車両の平均速度分布の変化を図7に示す。 $\alpha$ の増加につれより平均速度の高い車両が増加する傾向が見て取れるが、特に10%と20%の結果の差が大きい。必ずしもすべての車両が制御に参加せずとも20%程度の車両が参加することで比較的大きな効果が得られることが確認された。近い将来において制御に参加するConnected Vehiclesが一般の道路で多数を占めることは考えにくく、商用車を中心とした制御への参加が現実的であることを考えるとこの結果は実用性の観点で望ましいと考える。

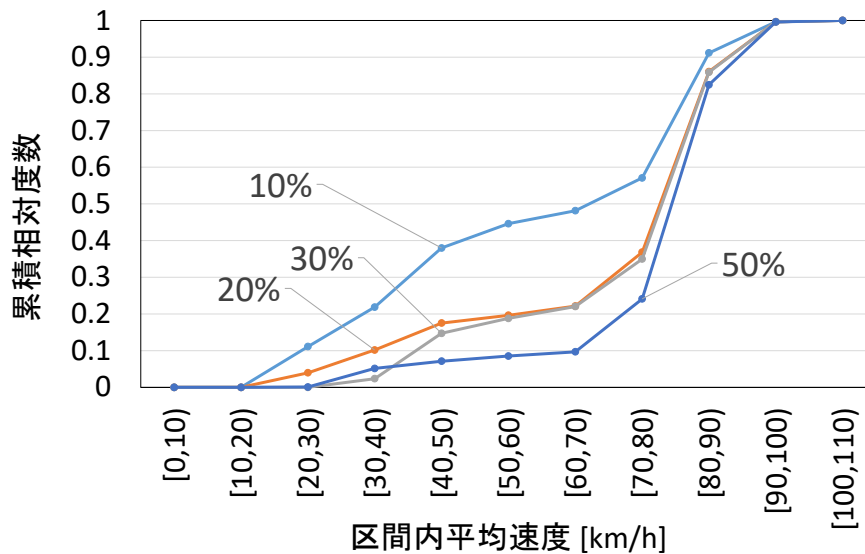


図7 提案方式における制御車両比率が平均速度分布に与える影響

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計18件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Tetsuya Fukumaru
2. 発表標題 Ttraffic congestion mitigation by deceleration control with short-term velocity forecasting using V2X
3. 学会等名 Proc. of the International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems (PerVehicle 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 福丸哲矢
2. 発表標題 高速道路における路車間通信を用いた短時間車速予測と速度制御による渋滞軽減手法の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 超知性ネットワーキングに関する分野横断型研究会 (RISING) 2022-10-RISING
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿毛悠誠
2. 発表標題 自動運転・手動運転車両混在環境における協調合流制御による事故渋滞の緩和
3. 学会等名 電子情報通信学会 革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (MIKA)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福丸哲矢
2. 発表標題 高速道路における路車間通信を用いた短時間車速予測と速度制御による渋滞軽減手法の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 SeMI2022-13
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福丸哲矢
2. 発表標題 高速道路における短時間車速予測と速度制御による渋滞軽減効果の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-15-15 2022年3月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 相浦隆青
2. 発表標題 エリアごとの適応車速制御による高速道路事故渋滞の緩和
3. 学会等名 情報処理学会全国大会 2E-03 2022年3月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鹿毛悠誠
2. 発表標題 高速道路サグ部渋滞時の車両間通信を利用した車線変更制御の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 SeMI2021-4 2021年5月
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Aiura Ryusei
2. 発表標題 Mitigating Traffic Congestion Due To an Accident with Area-dependent Jam Absorption Driving
3. 学会等名 International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems (PerVehicle 2022), Co-located with IEEE PerCom 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hiroaki Morino and Yusei Kage
2. 発表標題 Performance study of the lane change control using vehicle communications for alleviating congestion
3. 学会等名 IEEE PerVehicle Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鹿毛悠誠, 森野博章
2. 発表標題 高速道路サグ部渋滞時の車両間通信を利用した車線変更制御の性能評価
3. 学会等名 電子情報通信学会SeMI研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白石遼平, 森野博章
2. 発表標題 車両間通信を用いた自動運転車両の合流制御方式
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会 B-15-38
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相浦隆青, 森野博章
2. 発表標題 路車間通信を用いた高速道路渋滞緩和制御の特性評価
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 B-15-8
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白石遼平, 森野博章
2. 発表標題 合流部での円滑な合流を考慮した自動運転車両間での情報共有
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会 B-15-8
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuuki Shibuya and Hiroaki Morino
2. 発表標題 Evaluation of congestion mitigation effect at sags brought by lane change control using RVC system
3. 学会等名 International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems (PerVehicle) 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 聖, 相浦龍青, 森野博章
2. 発表標題 自動運転・手動運転混在環境における車線変更抑制による自然渋滞軽減効果の評価
3. 学会等名 電子情報通信学会センサネットワークとモバイルインテリジェンス研究会 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 澁谷祐輝, 森野博章
2. 発表標題 自動運転・手動運転混在環境における車線変更抑制による自然渋滞軽減効果の評価
3. 学会等名 革新的無線通信技術に関する横断型研究会専門委員会 MIKA 2019
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 森野博章
2. 発表標題 自動運転・運転支援における通信技術活用
3. 学会等名 日本機械学会2019年度年次大会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ryota Hachimine and Hiroaki Morino
2. 発表標題 Poster : Delay-Resilient Cooperative Velocity Control for Mitigating Congestion Based on Machine Learning 2024
3. 学会等名 IEEE Vehicular Networking Conference (国際学会)
4. 発表年 2024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
---------	---------