

都市高速道路織り込み区間における 車両分散制御手法の効果に関する研究

田中 伸治¹・長谷川 直之²・中村 文彦³

¹正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail: stanaka@ynu.ac.jp, f-naka@ynu.ac.jp

²非会員 横浜市

E-mail: hasegawa-naoyuki-dh@ynu.jp

³正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院

E-mail: f-naka@ynu.ac.jp

織り込み区間は都市高速道路における主要なボトルネック箇所となっており、交通事故のリスクの高い場所でもある。これらは多くの車両の車線変更位置が区間上流端に集中していることが原因であり、本研究ではこれを区間全体にわたって分散させる車両制御手法を提案し、その効果を交通シミュレーションを用いて評価した。その結果、提案手法は織り込み区間における交通処理能力の低下を防ぐ効果があり、拡幅のような大規模インフラ投資をせずに交通渋滞を緩和できる可能性が示唆された。

Key Words : urban expressway, weaving section, traffic control

1. はじめに

高速道路の整備は着実な進展を続けており、より高密度なネットワークが形成される一方で、ランプ、インターチェンジ、ジャンクションの数も増加し、織り込み区間の数も増え続けている。織り込み区間は都市高速道路ネットワークにおける主要なボトルネック箇所となっており、国土交通省の資料¹⁾によれば、首都圏中心部の高速道路の主要混雑箇所30地点のうち、18箇所が織り込み区間またはそれに準ずる構造とされている。

織り込み区間では短い距離の間に合流部と分流部が連続しており、合流後に反対側に分流しようとする車両はその逆の動きをする車両の軌跡を横切るため、互いに錯綜が生じることになる。これにより車両の速度は低下し、区間の容量も低下するため、渋滞を引き起こす原因となっている。また織り込み区間では車両の軌跡が複雑に交錯するため、交通事故のリスクも高くなっている。したがって、上記のような問題を改善し、織り込み区間において安全で円滑な交通を実現する制御手法の構築することは、都市高速道路ネットワークを有効に機能させる上でも必要性が高い。

そこで本研究では、上記に資する織り込み区間における車両制御手法を提案し、その効果を交通シミュレーション

により評価することを目的とする。

2. 織り込み区間の現状

(1) 既存指針における容量算定

HCM2010²⁾では、織り込み区間の交通容量について、次の式で表現されるとしている。

$$c_{IWL} = c_{IFL} - [438.2(1 + VR)^{1.6}] + [0.0765L_S] + [119.8N_{WL}] \quad (1)$$

ここで、 VR : 織り込み比率、 L_S : 織り込み区間長、 N_{WL} : 少ない車線変更で織り込み可能な車線数

また、道路の交通容量³⁾では、(1)のように明示的に織り込み区間長が含まれた式では表現されていないものの、織り込み区間長に依存する値として織り込み影響係数が示されている。

以上より、日米における現行の指針においては、織り込み区間の交通容量は、織り込み区間長が長いほど大きくなるとみなされていることが分かる。

(2) 織り込み挙動の実態

上記の指針に対して、実際の織り込み区間における交通状況を観測すると、特に近飽和～過飽和の状況におい

ては、多くの車両が織り込み区間への進入直後に車線変更を行う場面がよく見られる。すなわち、織り込み車両の車線変更位置は、区間全体に均等に分布しているわけではなく、織り込み区間前半に局所的に集中しているといえる。

図は横浜横須賀道路の新保土ヶ谷ICの織り込み区間において、織り込み区間の方向別交通量と、織り込み車両の車線変更位置の累積分布を観測したものである。これを見ると、織り込み車両は区間の上流端から100mの間に約80%が車線変更を行っており、車線変更位置の偏りが大きいことが分かる。

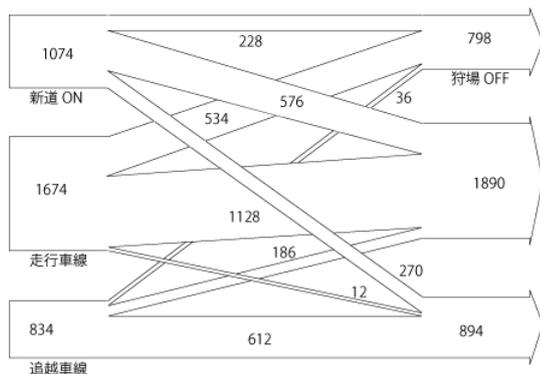


図 織り込み区間の方向別交通量

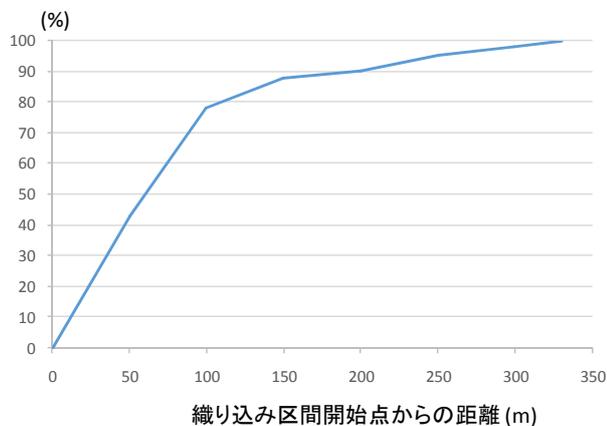


図 織り込み車両の車線変更位置の累積分布

(3) 織り込み区間制御手法の意義

上記の結果は織り込み区間全体が十分に利用されていないことを表しており、言い換えればせっかく整備されたインフラが有効に活用されていないと見ることができる。一方見方を変えると、織り込み区間全体を有効に活用することができれば、より多くの交通を処理できる可能性が残されているとも言える。すなわち、織り込み区間の潜在的なポテンシャルを引き出し、既存のインフラの性能を最大限に発揮するような交通制御手法を構築す

ることができれば、道路拡幅のような大規模な投資を行わずとも渋滞などの問題を解決できる可能性がある。近年の社会情勢を踏まえた財政上の制約を考慮すると、このことの意義は大きい。

3. 車両分散制御手法の提案

以上の問題意識を踏まえ、本章では織り込み区間を有効に活用するための車両制御手法を提案する。

(1) 仮説

織り込み区間において車両の速度低下や停滞が生じるのは、車線変更位置が区間上流に局所的に集中していることが原因である。したがって、これを何らかの方法で区間全体に分散させることができれば、車両の減速・停滞、錯綜、容量低下などの問題が改善されるものと考えられる。

(2) 前提条件

上記の仮説を設定するにあたって、必要となる前提条件を以下に記す。

- ・ 車線変更位置の分散のため、織り込み区間内のすべての車両を制御することが可能な管制システムを想定する。
- ・ 管制システムは織り込み区間に流入するすべての車両の目的地（分流方向）を把握することが可能である。（完全情報）
- ・ 織り込み区間において、すべての車両は管制システムの指示通りに動く。（完全制御）

現実の交通を鑑みれば、このような前提条件を仮定することは非現実的かもしれない。しかし、ITS技術の発展に伴い、路車間・車車間通信や自動運転の技術開発が盛んに行われていることを踏まえると、ある程度将来の状況を想定してその時起こりうる交通状態を予測することには、一定の価値があると考えられる。

したがって、本稿では具体的にどのような技術により上記のような完全情報・完全制御を実現するかについては議論の対象とせず、それが実現した場合にどのような効果が発現するかを評価することに主眼をおくものとする。

(3) 提案する制御手法

以上の前提条件の下、車線変更位置を分散させる車両制御手法を以下に提案する。

1. 管制システムは、すべての車両の目的地（分流方向）の情報に基づき、織り込み車両を特定する。

2. 管制システムは織り込み車両の車線変更位置が区間内で均等に分散するように、個々の車両の車線変更位置を調整して指定する。
3. 各車両が指定された車線変更位置に到達したら、管制システムは当該車両に対して車線変更の開始を指示する。

4. 車両分散制御効果の評価

(1) 評価方法

本研究ではマイクロ交通シミュレーションモデルを用いて、前章で提案した車両制御手法の効果を評価する。交通シミュレーションは任意の条件を設定することができるため、本研究で想定する将来の完全情報・完全制御の交通状況を模擬することが可能である。

(2) 現況再現性の確認

提案制御手法の効果の評価に先立ち、交通シミュレーションモデルの現況再現性を確認した。既存研究を参考に、首都高速道路箱崎JCTの織り込み区間のデータを準備し(図)，飽和状態の入力交通量を与えてシミュレーションを実施した結果を図 に示す。その結果、織り込み区間下流端で測定した交通処理能力(通過交通量)の値は既存の観測値に近い値となった。また、車線変更位置の分布も観測値とよく一致し、これらから本シミュレーションモデルは十分な再現性を有していると判断した。

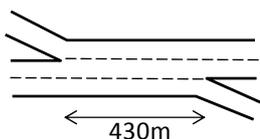


図 再現対象織り込み区間



図 織り込み区間交通処理能力の再現

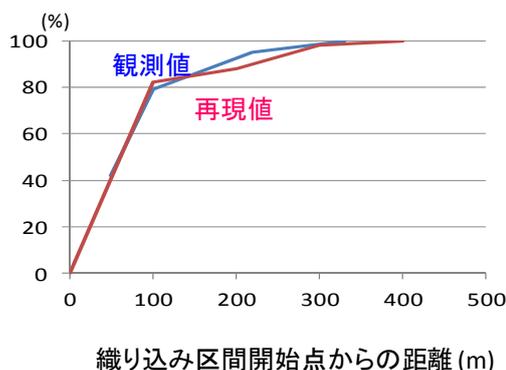


図 車線変更位置の累積分布の再現

(3) モデルの改良

既存のマイクロ交通シミュレーションモデルに今回提案した車両制御のアルゴリズム組み込みを行った。具体的には、織り込み車両について、既存モデルでは織り込み区間に進入後すぐに車線変更のためのギャップを探索する処理を開始していたところを、個々の車両に与えられた指定位置に達してからギャップ探索を開始するよう修正を行った。

(4) 適用結果

上記のアルゴリズムを組み込んだモデルにより、提案制御手法の効果を評価するシミュレーションを実施するため、図 に示すような2種類の仮想的な織り込み区間を用意した。上流からは飽和状態の入力交通量を与え、織り込み区間下流端での交通処理能力(通過交通量)を測定するとともに、個々の車両の車線変更位置を記録した。また、織り込み率を全く織り込みがない $R=0(\%)$ から国内の都市高速道路に実在する織り込み区間の中で最も高い織り込み率である $R=60(\%)$ まで、10刻みで変化させてシミュレーションを実施した。

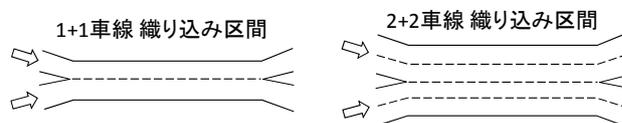


図 評価対象織り込み区間

図 は車線変更位置の累積分布を提案制御手法導入前後で比較したものである。図から明らかなように、導入前には織り込み区間上流端100mに80%が集中していた車線変更位置が、導入後は完全に均等ではないものの織り込み区間全体にわたって分布するようになり、車線変更位置分散制御手法の効果を確認することができる。

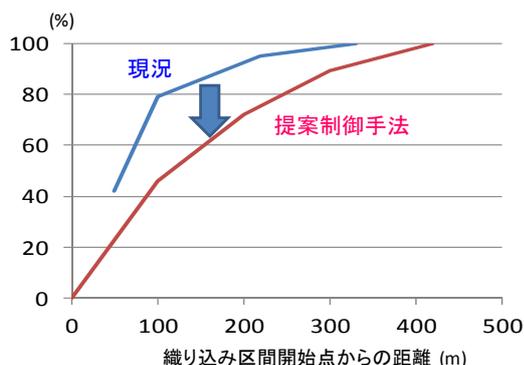


図 提案手法による車線変更位置の累積分布

図 1, 図 2 はそれぞれの織り込み区間において、交通処理能力（通過交通量）がどう変化するかを異なる織り込み率とともに示したものである。全体的に、織り込み率が上昇、すなわち織り込み車両が増加すると、交通処理能力は低下するという傾向が現れており、これは既往の知見とも整合する結果である。また、1+1車線の織り込み区間より2+2車線の織り込み区間で低下の度合いは大きく、これは2+2車線ではより多くの車線を跨ぐ織り込み車両が発生し交通流に与える影響が大きくなるためであると考えられる。

ここで、提案制御手法の導入前後の結果を比較すると、制御手法の導入後は導入前に比べて処理能力の低下幅が小さく、車線変更位置を織り込み区間で分散させることにより容量低下を防ぐことが可能であることを示している。また、その効果は1+1車線の織り込み区間より2+2車線の織り込み区間で大きく、多くの車線を跨ぐ必要がある場合に分散効果がより大きくなることが分かる。これは裏を返せば、車線数が多いほど車線変更位置が局所的に集中することの弊害が大きくなることを示唆していると言える。



図 提案手法による交通処理能力（1+1車線）



図 提案手法による交通処理能力（2+2車線）

提案制御手法による容量低下の改善幅は、2+2車線の織り込み率 $R=60\%$ の場合に最も大きく約16%となった。一般的な交通渋滞の需要超過率は10%程度であることを踏まえると、今回の提案制御手法は渋滞の緩和・解消に大きく貢献することが期待される。

5. まとめ

本研究では織り込み区間における車線変更位置の偏在が、インフラの性能発揮を妨げているとの認識に立ち、これを区間全体に分散させる車両制御手法を提案し、その効果を交通シミュレーションにより評価した。その結果、車線変更位置の分散は交通処理能力低下の抑止に寄与し、大規模なインフラ投資をせずとも既存インフラを活用してネットワーク性能を向上させられる可能性が示唆された。

本研究で想定した完全情報・完全制御という仮定は、技術的にすぐ実現可能な条件ではない。しかし、将来的に起こりうる交通状況を予測すること、またその効果を予測することで技術開発推進の根拠とすることの意義は小さくないと考える。

今回提案した制御手法は、織り込み区間で車線変更位置を均等に分散させるという非常に単純なものであった。今後、隣接する走行車両間で目的地、相対位置/速度/加速度等の情報を利用することで、より効率的な車両制御を実現し、織り込み区間の性能をより向上させることができるものと考えられる。

謝辞：本研究で使用したマイクロ交通シミュレーションモデルは、東京大学生産技術研究所先進モビリティ研究センターで開発されたものを使用させていただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成24年度 首都圏の主要渋滞箇所の特

定結果, http://www.ktr.mlit.go.jp/kisha/road_00000023.html

1984.

- 2) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual
2010
- 3) 日本道路協会：道路の交通容量，日本道路協会，

(2014. 8. 1 受付)

**A STUDY ON THE EFFECT OF VEHICLE DECONCENTRATION ALGORITHM
IN WEAVING SECTION IN URBAN EXPRESSWAY**

Shinji TANAKA, Naoyuki HASEGAWA and Fumihiko NAKAMURA