

# 手動と自動運転が混在する状況を想定した織り込み区間における車両制御アルゴリズムの開発

寺嶋 修平<sup>1</sup>・中村 文彦<sup>2</sup>・田中 伸治<sup>3</sup>・三浦 詩乃<sup>4</sup>・有吉 亮<sup>5</sup>

<sup>1</sup>学生会員 横浜国立大学 大学院都市イノベーション学府 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)  
E-mail:terasima-shuuhei-yf@ynu.jp

<sup>2</sup>正会員 横浜国立大学 理事・副学長 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1)  
E-mail:f-naka@ynu.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 准教授  
E-mail:stanaka@ynu.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 助教授  
E-mail:miurashino@ynu.ac.jp

<sup>5</sup>正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 産学連携職員  
Email:ariyoshi-ryo-np@ynu.jp

織り込み現象が起こる道路区間を織り込み区間と称する。このような区間は、高速道路のインターチェンジやジャンクションなどに存在し、短すぎる織り込み区間は交通容量低下の原因となる可能性が大きい。そのため、都市部において十分な区間長をとることが工費などの制約から困難である場合には、交通容量上のボトルネックとなる織り込み区間が出現しがちである。そこで、本研究ではITS技術の発達により実用化が期待される自動運転技術の活用により、交通容量の向上を試みる。

シミュレーションを用いることにより、道路の幾何構造を変えことなく交通容量が向上すると考え、マイクロ交通シミュレーションを用いた車両制御手法を提案し、効果検証を行った。

**Key Words :** *weaving sections , algorithm , highway capacity , automatic driving , traffic simulation*

## 1. はじめに

### (1) 研究背景

織り込みとは、ほぼ同じ方向に流れる二つ以上の交通流が交差するときに、一つの交通流が他の交通流を横切る現象をいい、織り込み現象が起こる道路区間を織り込み区間と称する。このような区間は、高速道路のインターチェンジやジャンクションなどに存在し、特に都市部において、空間的制約から十分な区間長が確保されていない織り込み区間が多く建設されている。

また、織り込み区間では、合流部直後で車線変更が局所的に集中する為、短すぎる織り込み区間は交通容量低下の原因となる可能性が大きい。そのため、都市部において十分な区間長をとることが空間的あるいは工費などの制約から困難である場合には、織り込み区間が交通容量上のボトルネックとなる問題がある。

一方で、近年では科学技術の発達により、ITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) が

活発に利用されている。また、自動ブレーキに代表されるような、運転の一部をシステムがサポートする技術の開発、普及が進んでおり、これらの技術を統合し発展させていくことで自動運転が近い将来実現すると考えられている。自動運転が実現することにより、事故の削減や渋滞の解消・緩和が期待され、近年、多くの研究開発が行われている。このシステムが全車両に採用されれば、全車両の挙動を一元的に管理できると考えられる。すなわち、各車線の車両で織り込み (車線変更) の情報を共有し、織り込み位置やタイミングを分散させることで、車両の錯綜を回避につながると考えられる。

しかし、自動運転が実用化された場合に、自動運転の導入の初期段階においては、手動運転車両と自動運転車両が混在する状況が発生すると予想される。全ての車両が自動運転であるという想定の下での、織り込み区間の交通容量向上を示した研究はあるが、手動運転と自動運転が混在する状況を想定した研究はされていない。

## (2) 研究目的

本研究では手動と自動運転が混在する状況を想定し、織り込み区間における交通容量を向上させるための車両制御アルゴリズムの開発を行う。シミュレーションを用いるのは、車両の詳細な挙動まで正確に表現することが可能となり、より現実に近い状況を作り出すことが出来ると考えたためである。これにより、ボトルネックとなる織り込み区間において、道路の幾何構造を変えることなく渋滞を解消できる可能性の検証を目的とする。

## 2. 既存研究の整理

背景で述べたように、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。しかし、わが国では織り込みを前提とした交通運用事例が多くないという背景がある。そこで、中村ら<sup>3)</sup>は織り込み区間における個々の車両の挙動を観測に基づいて分析し、車線変更の際のギャップ選択と加減速挙動のモデル化を行った。また、織り込み区間がボトルネックとなる原因は、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からであるということが明らかにされている。そこで、長谷川ら<sup>4)</sup>は織り込み区間を 10 分割し、また乱数を与えることで織り込み位置を指定し、織り込み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、拡張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。

また、飯塚ら<sup>5)</sup>は、ITSによる完全自動運転を想定し、長谷川ら<sup>4)</sup>が開発したアルゴリズムに比べ、より適切なタイミングでの織り込みを実施することによって、織り込み区間長全体に織り込み位置を分散させ、交通容量が増加することを示した。

ITSに関する研究として、宮脇ら<sup>6)</sup>は、車載の単眼カメラの入力から周辺車両を認識し、これを基に他車両の車線変更を予測することでドライバーへの注意を促すことを目的とした運転支援システムの開発を行った。その予測方法は、まず車両に搭載されたカメラで周辺の状況を認識し、鳥瞰図で車両位置を表す。そして、その鳥瞰図より車両の位置関係を把握し、車線変更を行う車両の予測を行う。実験の結果、実際に車線変更を行った全ての車両に対して事前の予測に成功している。以上のように、自動運転の導入により、交通流は円滑化されと考えられている。しかし、これは全ての車両が完全に自動化されており、相互に通信を行い互いの位置を把握することや、挙動を一元的に管理出来ることを前提としている。そこに、挙動を制御することが出来ない手動運転車両が加わ

ることで、手動運転車両の想定外の挙動に自動運転車両が対応しきれず、かえって交通容量が低下してしまう可能性が考えられる。

また、手動運転と自動運転の主な違いとしては、手動運転ではドライバーが運転し、扱える情報が限られている（ドライバーの視界の範囲内）、自動運転では機械が運転し、区間全体の情報を使用できる、といった違いが挙げられる。

## 3. 研究手法

本研究では、現存する織り込み区間についてマイクロシミュレーションソフト上で再現する。そして、車線変更アルゴリズムを手動運転と自動運転車両が混在する状況のものに置き換え、織り込み区間自体の交通容量を比較してアルゴリズムの評価を行う。ここでは、本研究で用いるシミュレータの紹介と評価手法について述べる。

### (1) シミュレータ (KAKUMO) の仕様

本研究では、東京大学生産技術研究所で作成された「KAKUMO」というマイクロシミュレーションソフトを用いる。表 - 1 にシミュレーションの主な入力情報を記す。出力されるのは交通量と旅行時間である。このソフトでは、マクロな交通流から道路上の各車両のマイクロな動きのシミュレーションを実行することができ、各車両は他車両との位置関係や速度に応じて車線や速度を変更する。また、この車線や速度を変更する条件のプログラムは書き換えることが可能である、長谷川<sup>4)</sup>や飯塚ら<sup>5)</sup>の成果を反映できる、といった利点が挙げられる。

表 - 1 シミュレーション入力情報

区分	入力情報
ネットワークデータ	ノード位置
	ノード・リンク接続情報
	道路の種別
	リンク情報
道路構造データ	サブリンク形状
	最高規制速度
	流入出位置
	レーン形状
	通行規制
	レーン種別
	走行条件
シミュレーション設定	シミュレーション時間
	車両感知機数
	車線変更要求
	出力ファイル設定

(2) 評価手法

本研究では、現存する幾何構造についてマイクロシミュレーションソフト上で再現し、現時点での織り込み区間の再現を試みる。そして、開発した車線変更アルゴリズムに置き換え、織り込み区間自体の交通容量がどの程度増加するかに関してアルゴリズムの評価を行う。アルゴリズム導入前後の交通容量を評価する指標としては、織り込み区間での単位時間当たりの通過台数を用いる。また、本研究で操作する実行ファイルについて図 - 1 に記す。実行ファイルであるKAKUMOVView.exeは3つのdllファイルで構成されている。KAKUMODData.dllでは対象エリア、レーン、リンクや信号等の道路情報について処理を行い、KAKUMOModel.dllではドライバーや走行モデル各種について処理を行う。KAKUMOCCommunication.dllではファイルの入出力を行う。本研究では、KAKUMOModel.dllに注目する。車線変更を実施する際のアルゴリズムが記述されたファイルもこの中に存在する。変更するのは構成するソースファイルの一つであるKDriver.cppである。

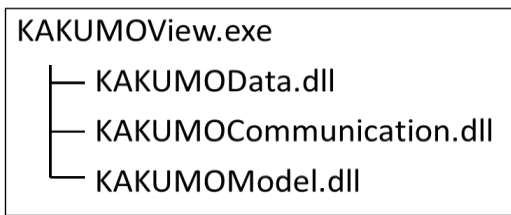


図 - 1 KAKUMO実行ファイル以下の階層関係

次に、本研究で用いるシミュレーションの車線変更モデルの構造を図 - 2 に記す。本研究では、このモデルを変更する予定である。

車線変更を行うかどうかというのは「追従走行モデル」「車線変更（左→右）モデル」「車線変更（右→左）モデル」の三つのモデルによって決定する。これら三つのモデルに対して、要求・判断・実行という関数を実行し、その結果に応じて車両の挙動が決定される。

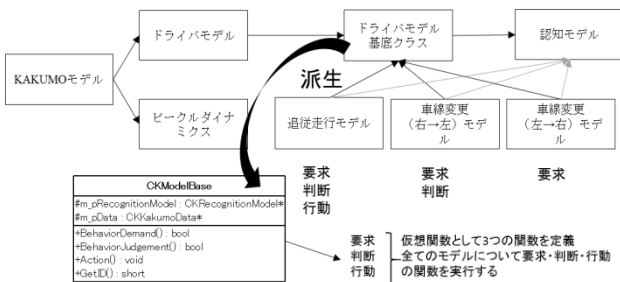


図 - 2 KAKUMOModel.dllの構成

4. シミュレーションモデル

手動運転と自動運転の車線変更挙動が異なるため、本研究では、既存のKAKUMOModel.dllを変更し、手動運転モデルと自動運転モデルの二つの車線変更モデルを用意する必要がある。ここでは、モデルの内容について述べる。

(1) 手動運転のモデル化

織り込み区間において織り込み車両の特徴としては、多くの車両が織り込み区間の上流部で車線変更する。車線変更の判断要因車両の車線変更可否判断は、相対速度・車間距離の2つの要因の影響を受ける。の二点があげられる。

織り込み車両の車線変更挙動については、織り込み車両が織り込み区間に侵入してから車線変更を実行するまでの間を、車線変更を行う対象の車両間の空間（ギャップ）の探索行動、ギャップを決定後、走行速度を調整しつつ、周囲の車両との位置や速度の関係の変化に伴い加速調整またはギャップの変更を行う判断、最適なタイミングで車線変更を行う実行、の大きく次の3つの挙動に分けて考えることが出来る。織り込み車両の車線変更挙動については、中村ら<sup>3)</sup>がモデルを作成している。そのため、本研究では、手動運転の車両挙動を再現するために、中村ら<sup>3)</sup>のモデルを使用する。

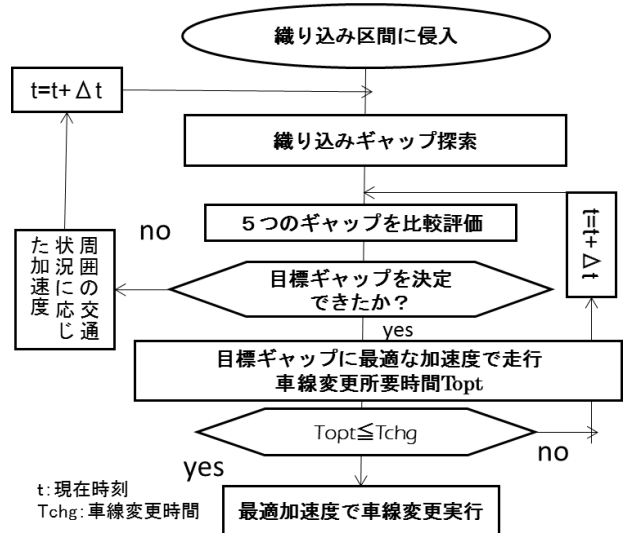


図 - 3 車線変更モデルのフローチャート

(2) 自動運転のモデル化

織り込み区間における自動運転車両のモデル化については、長谷川<sup>1)</sup>や飯塚<sup>2)</sup>らが車両挙動を分散させるモデルを作成している。しかしこれらのモデルは、前述したように、全ての車両が自動運転車両であるという仮定の下

でのモデルである。そのため、手動運転車両と自動運転車両が混在する状況では、交通容量が増加しない可能性も考えられる。

そこで、自動運転車両が互いに連携をとることにより、手動運転車両を間接的に制御し、集中する織り込みを分散させるモデルを考える。具体的には、車線変更の判断要因を利用し、車線変更しやすい速度、距離を確保することにより、手動運転車両が車線変更する位置を制御する。それにより、手動運転車両の織り込み位置も分散することが可能になると考える。この方法のイメージを図-4に記す。自動運転については、モデルはまだ作成途中である。今後、これらの考えをもとにしたモデルを作成していく。

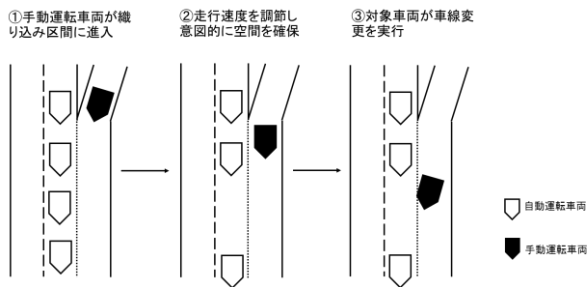


図-4 自動運転車両による手動運転車両の間接制御のイメージ

## 5. おわりに

現在、使用する手動運転モデルの選定、自動運転モデルの大まかな構成まで考えており、それらのモデルを実

行するために、シミュレーションの車線変更モデルを二つ用意する方法を検討中である。今後は、自動運転車両の車線変更モデルを作成し、手動運転と自動運転の二つの車線変更モデルを実行するファイルを用意することにより、手動運転と自動運転車両が混在する状況を想定したシミュレーションを実行する予定である。また、現時点では、評価指標として交通容量のみを想定しているが、錯綜回数等についても評価を行う必要があると考えている。

## 参考文献

- 1) 長谷川直之, 中村文彦, 田中伸治, 王鋭: ITS 自動運転を想定した織り込み区間の車両制御アルゴリズムの開発, 第48回土木計画学研究発表会, 2013.
- 2) 飯塚大介, 中村文彦, 田中伸治, 三浦詩乃, 有吉亮: ITS自動運転を想定した織り込み区間における車両錯綜回避アルゴリズムの開発, 2015.
- 3) 中村英樹, 桑原雅夫, 越正毅: 織り込み区間の交通容量算出シミュレーション・モデル, 土木学会論文集, No.440, pp.51-59, 1992.
- 4) 松本健二郎, 高橋秀喜, 井上淳一, 辻光弘: 織り込み区間評価のための交通シミュレーションモデルの開発, 土木学会論文集, No.440, pp.61-69, 1992.
- 5) 宮脇悠, 鹿嶋雅之, 佐藤公則, 渡邊睦: 交通状況認識に基づく車線変更予測に関する研究, 電気学会研究会資料.ITS, pp109-113, 2014

(2016. 7. 31 受付)

## Development of vehicle avoiding conflicts algorithm for expressway weaving sections under a ITS automatic driving situation

Shuhei TERASHIMA, Fumihiko NAKAMURA and Shinji TANAKA

Weaving is a phenomenon that crossing of two or more traffic vehicle traveling in the same direction of the highway. The section which such a phenomenon produces is called a weaving section. In such section, when the length of section is not enough, highway capacity is decreasing. So, weaving section is one of the bottlenecks in urban expressway.

On the other hand, ITS automatic driving situation will come true in the future. If automatic driving is realized, it is thought that the situation that automatic driving vehicles and hand-operated driving vehicles are mixed in the same area. In this paper, we develop the algorithm to increase the traffic capacity of the weaving sections under such situation.