

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

飯塚 大介¹・中村 文彦²・田中 伸治³・有吉 亮⁴

¹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:iizuka-daisuke-pw@ynu.jp

²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

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

⁴正会員 横浜国立大学産学連携研究員 大学院都市イノベーション研究院
E-mail:ariyoshi-ryo-np@ynu.jp

都市高速道路には、近接する合流部や分流部の間に互いの走行路から車線変更が可能な織り込み区間が数多く存在する。この区間では、車線変更による車両同士の錯綜によって交通容量が低下し、ボトルネックとなっている。現在の解決策としては車線増備などのハード面での整備にとどまり、ソフト面による対応策はとられていない。

本研究では、近年のITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) 技術の発展を考慮し、将来的に自動運転が可能になった際の車両制御手法に関するアルゴリズムを開発し、それを適用することで、道路の幾何構造を変えることなく、円滑な交通流の実現に寄与することを目的としている。

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

1. はじめに

(1) 研究背景

高度経済成長期にかけて、わが国の高速道路ネットワークは急速に発展してきた。特に、1960年代から建設が始まった首都高速道路は、路線の新設が進むにつれ、新たなインターチェンジやジャンクションが建設された。その結果、多くの合流部や分流部が形成され、近接したインターチェンジの出入り口やジャンクションでは、同一平面上において、合流部直後に車線変更し、再び分流する区間が生じることとなる。このような区間は、一般的に「織り込み区間」と呼ばれる。

織り込み区間は、合流部直後で局所的に生じる車線変更の集中によって、交通容量が低下し、交通渋滞を誘発するとの問題点を抱えている。すなわち、織り込み区間が交通流におけるボトルネックとなっている。現在、その改善策として、織り込み区間の車線数の増加といったハード面に着目した幾何構造の改修が行われている。しかし、用地取得の難しさや多額の工事費が発生することが懸念される。

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。最近では、Googleによる自動運転の試走がアメリカで実施されており、将来的に自動運転が実現が期待されている。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の利点が挙げられる。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。すなわち、後者のITSの自動運転に着目することで、織り込み区間における円滑な交通流の実現という、新たなアプローチによる提案が可能となる。

以上の考えに基づいて、長谷川ら¹⁾は、織り込み区間を10分割し、乱数によって織り込み位置を指定することで、車両錯綜を分散させ、交通容量が増加することを示した。しかし、この手法では、織り込みの位置が被織り込み車線を走行する車両の特性に依らず、一意的に決定されてしまうとの課題があり、未だ改善の余地がある。

(2) 研究目的

(1)で示したように、本研究では以下の2つを仮定する。

①織り込み区間対策の総コストが、ハード対策（区間改良）よりもソフト対策（ITS自動運転）の方が安い。

②ITS自動運転では、全車両の挙動を一元的に管理できる。（完全情報・完全制御の仮定）

以上を踏まえた上で、本研究の目的は、織り込み区間において、交通容量を向上させるための車両錯綜回避アルゴリズムを開発することである。とりわけ、車両間の情報共有がより反映されるように、相対的な指標を考慮したアルゴリズムを提案することが本研究で重視している点である。

2. 既往研究のレビュー

織り込み区間に関する研究では、シミュレーションモデルの構築、織り込み区間内部での自己統計分析、織り込み区間内部での交通現象解析等が挙げられる。中村ら²⁾は、交通容量に着目し、織り込み区間内での車両挙動に関するフロー及びシミュレーションモデルを構築した。また、松本ら³⁾は織り込み区間長に着目し、区間内織り込み完了率という指標を用いて織り込み区間ごとの評価基準の提案を行った。

長谷川ら³⁾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、車両錯綜を分散させることで、交通容量が増加することを示した。

内山⁴⁾は、夜間時の工事による車線規制に着目し、その合流プロセスを非集計モデルで示した。また、ビデオ調査によって車両の走行奇跡を類型化し、「相対変化率」との指標を用いて走行特性を表現している。

Liら⁵⁾は、Ramp Meteringを織り込み区間に適用し、実ネットワークを例として、交通容量の最適解を示した。ここで、Ramp Meteringとは、高速道路に進入するオンランプの手前に信号機を設置し、流入する車両の制御を行う手法である。

3. 分析手法

本研究では、開発したアルゴリズムに基づいて車線変更プログラムを作成し、シミュレーションを通じて、仮想的な織り込み区間上で現況再現し、交通流の状況を把握することとする。今回は、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ている。このソフトを使用する利点として、長谷川ら³⁾の成果を反映できることや車両に複雑な挙動を与えることができる点が挙げられる。

アルゴリズム導入前後の交通流を評価する指標としては、織り込み区間での通過台数が挙げられる。これは、

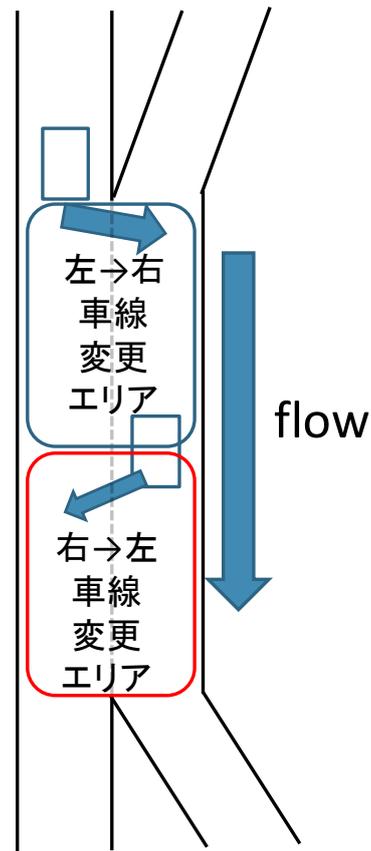


図-1 織り込み区間における車線変更エリアの概念図

「KAKUMO」に車両感知器の機能があり、それを任意の位置に設置することで、1/20[s]ごとに車両を検知する機能である。この通過台数以外にも、この機能を応用して、各車両の最小旅行時間や織り込み位置の集計など、様々な指標を導入することで、多角的な評価を行うことを検討している。

4. アルゴリズムについて

(1) 車線変更エリアを設定した場合

まず第一に、織り込み区間において、図1のような車線変更エリアを設置した場合のシナリオを想定する。これは、左車線の織り込み車は、左車線から右車線への変更エリアで織り込みを実施するという、エリア規制を導入するシナリオである。このシナリオは、前述で紹介した、長谷川ら¹⁾が意図的に織り込みを分散させた事例を活用している。このシナリオの利点として、車線変更エリアによって、織り込み方向が固定されるので、エリア内における双方向からの車両錯綜を排除できる点が挙げられる。また、両方向の交通量に応じて、エリアの区間長を変化させたり、エリアの配置を変化させることによって、交通流に差異があるか否かを検証し、より応用的な適用可能性についても探りたいと考えている。

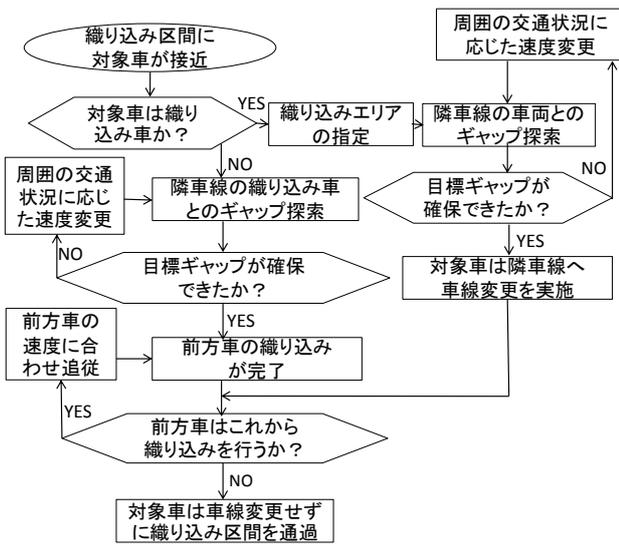


図2 車線変更エリアを導入したアルゴリズムの概念図

この図1に基づいて作成したアルゴリズムを図2に示す。始めに、前半部の車線変更エリアでは、対象車が織り込みを実施するか否かを確認した上で、前者の場合は織り込みエリアを指定する。これは、対象車がどちらの車線を走行しているのかによって、自ずとエリアが決められる。そして、隣車線の走行車とのギャップを探索し、それを確保するための速度調整を実施することで、円滑な織り込みの誘導を図る。

続いて、後半部の車線変更エリアでは、前方車が織り込みをこれから行うかを確認した上で、対象車の走行速度を変化させる。つまり、前方車の車線変更が完了するまでは、前方車の速度に合わせた追従挙動を行い、完了した後は、さらに前方の車両とのギャップを埋めるために、加速することを意図している。これにより、部分的に密になる後続車へのギャップ確保の促進につなげたいと考えている。

(2) 相対変化率を用いた場合

続いて、相対変化率を用いた場合のシナリオを想定する。これは、前述の内山⁴⁾が示した指標である。まず、図3のように、合流車、先行車、追従車を1組として取り扱う。(参考文献では、データセットと呼ぶ) 図中では、左車線走行の合流車が右車線に車線変更する場面を想定している。ここで、追従車に対する合流車の相対速度を v_{FM} 、追従車に対する先行車の相対速度 v_{FP} を、合流車の後方ラグ D_{FM} を、右車線のギャップを D_{FP} とすると、後方ラグとギャップの相対変化率 R_1 、 R_2 は、各々式(1)、(2)のようになる。

$$R_1 = \frac{v_{FM}}{D_{FM}} \tag{1}$$

$$R_2 = \frac{v_{FP}}{D_{FP}} \tag{2}$$

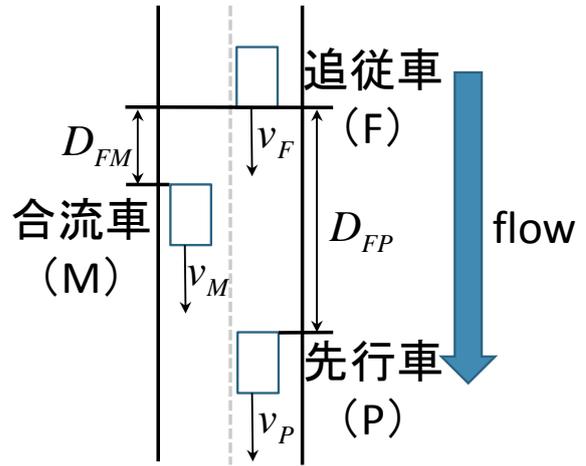


図3 車群の定義

この指標の画期的な点として、相対速度と車間距離の両者を一体的に取り入れている点が挙げられる。つまり、相対変化率が正の場合は車間距離が広がりつつあり、その値が大きいほど広がる速度が大きく、一般に合流しやすさを確保することが可能となる。ここで、相対変化率の次元は $[T^{-1}]$ であり、従来ギャップアクセプタンスモデルに用いられていたTTC(Time to Collision)⁹⁾の逆数と考えることができる。

この指標を導入したアルゴリズムを図4に示す。まず、ある車両が織り込み区間の接近に伴い、図3のような車群を定義する。その車群内で合流車を定め、 R_1 、 R_2 を算出する。その値が基準値に適合するかを勘案した上で、車線変更の判断を実行するプロセスを考えている。ここで、何を以て基準値とするかや十分なギャップが確保できた場合の相対変化率の取り扱いとその場合の車線変更判断が今後の課題となろう。そのためには、相対変化率の変移など、様々な条件での分析が必要になると考える。

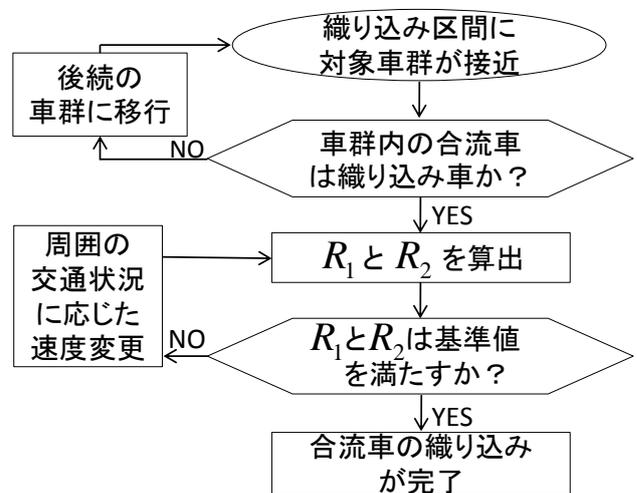


図4 相対変化率を導入したアルゴリズムの概念図

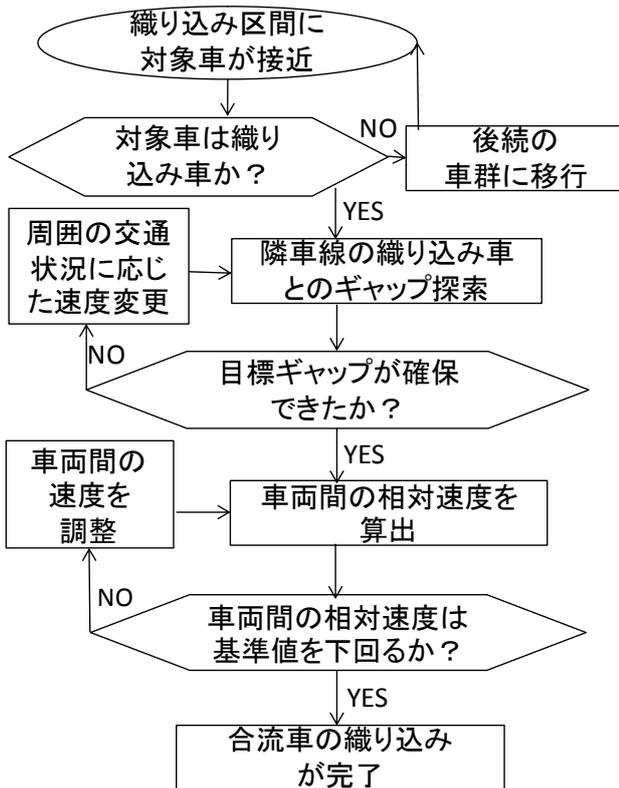


図-5 Ramp Meteringを導入したアルゴリズムの概念図

(3) 相対速度を判断基準に用いた場合

最後に、相対速度を判断基準に用いた場合のアルゴリズムを図5に示す。(1)、(2)のシナリオと類似しているが、明確に異なる点として、車両間の相対速度と極力無くし、ギャップを予め確保することに主眼を置いた点である。このシナリオの利点として、車両間の相対速度、すなわち速度差が無いことによって、車両間のギャップも必要最小限の安全な間隔でもって車線変更が可能であると考えられるからである。つまり、シナリオ(1)よりも、ギャップ判定による織り込み対象車は増大し、車両間の相対速度が減少すれば、効率的な織り込みの実現が可能であると推測している。

5. おわりに

今後は、実路における織り込み区間において現地調査を実施し、流入台数や織り込み台数、織り込み位置などのデータを収集する予定である。それらを利用して、前述のアルゴリズムを適用することで、どのような効果が得られるのかを把握したいと考えている。

また、現時点では、1車線同士の織り込み区間を想定しているが、多車線や流入台数の疎密に対応できるようなアルゴリズムを構築する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) 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.
- 3) 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.
- 4) 内山久雄: 高速道路における工事時の合流意思決定プロセスのモデル化, 土木学会計画学論文集, No.625/IV-44, pp.29-37, 1999.
- 5) Xingang Li, Hai Yang, Ziyou Gao: Traffic control of urban corridor systems with weaving effects, Transportation Research PartC, Vol.25, pp.214-225, 2012.
- 6) 喜多秀行, 平井克尚: 運転行動分析に基づく低速合流時の潜在事故危険度推定法, 土木計画学研究・論文集, No.11, pp.327-334, 1993.

(? 受付)

Development of a vehicle control algorithm for expressway weaving sections under an assumed ITS automatic driving situation

Daisuke IIZUKA, Fumihiko NAKAMURA, Shinji TANAKA and Ryo ARIYOSHI

In the urban expressway, there are many weaving sections. In these areas, highway capacity is decreasing because of complicated lane change. Therefore, weaving sections are called bottle neck of traffic flow. Currently, the solution of this problem is constructing additional lane. So there is not software approach.

In the future, ITS automatic driving situation will come because of development ITS technology. Therefore, the objective of this research is to develop algorithm to increase its capacity without changing the hardware of the weaving sections.