

## 双方向の車車間通信による交通流円滑化に向けたシミュレーションの研究 Study on Simulation for Smooth Traffic using Interactive Communication

那和 一成<sup>†</sup> 三輪耕平<sup>†</sup> 加藤大志<sup>†</sup> 小山 智加<sup>‡</sup> 織田 瑞夫<sup>‡</sup> 米山照彦<sup>‡</sup>  
Kazunari Nawa Miwa Kohei Hiroshi Kato Tomoka Koyama Mizuo Oda Teruhiko Yoneyama

### 1. はじめに

自動車事故の低減や運転の負担軽減のために、様々な支援システムの研究が進められており、その中でも、車車間通信を用いた支援は、事故を低減するための新しい情報伝達方法として期待されている【1】。車車間通信で検討されているサービスの多くは、位置や速度などの車両挙動を相手に伝達することにより、ドライバーに対して危険を通知するというものである【2】。しかしながら、実際の交通環境では、ドライバーは運転操作以外にも、視線、ジェスチャー、ヘッドライトなど多様なモダリティを用いて、他車のドライバーに自身の意思を伝え、交渉を行なっている。

そこで、自車の要求を相手車両に事前に伝達し、その回答を得るといった双方向のコミュニケーションを図ることが有益な手段と考えた。これまで、この考え方の有用性を示すために、ドライビングシミュレータに幾つかのユースケースを組み込み、被験者実験により、その受容性に関する分析結果を報告した【3】。

今回は、双方向の車車間通信の効果をマルチエージェント・シミュレーションにより定量的に評価を行ったので、それを報告する。

### 2. 関連研究

交通流の評価のために、実証的な研究の他に交通流シミュレータが開発され、利用されている。特に、マイクロモデルでは、局所的な部分の再現を可能としており、加減速、右左折、合流といった車両の挙動をより詳細に扱うことができることが報告されている【4】。

今回扱うマルチエージェント・シミュレーションも、マイクロモデルを利用するものであり、個々のエージェントの意思決定プロセスをエージェントの行動ルールとしてモデル化する。これにより、エージェント同士の相互作用が生じ、結果的に加減速等の車両の挙動を再現することができるものと考えられる。

### 3. 対象とするユースケース

対象とするユースケースは、ITS 関連の通信標準化団体や総務省の資料【5】でも代表例と取り上げられている高速道路での合流を取り上げ、今回は、片側 1 車線道路に 1 車線の道路が合流する場合を想定した。ここで、合流車は、本線車に対して合流希望の旨を伝える通信を行い、その通信を受けた本線車は、合流車が合流しやすいように譲り行動を行うというインタラクションを表現するモデルとした。図 11 にユースケースとして選んだ合流部を示す。



図 1 ユースケースとした合流部

### 4. 実験

本実験では、マルチエージェント・シミュレータ *artisoc* を用いて、通信による意思疎通をモデル化し、高速道路での合流場面における通信の有用性の評価を行った。*artisoc* とは、(株)構造計画研究所が開発したマルチエージェント・プラットフォームである【6】。*artisoc* では、複数種類のエージェントごとに任意の行動ルールを記述することができ、記述したルールによるエージェントの行動結果を GUI 画面上のマップやグラフ等で容易に確認することができる。

#### 4.1. 車両の合流行動及び譲り行動の判断

本実験での走行速度は、本線車線と合流区間では最大 75km/h、ランプ区間は 40km/h とした。車両は追突を回避するための速度調整を伴う追従走行を行い、合流車は周囲の状況から合流できると判断した場合は合流を行い、本線車は、合流車に対して譲ることができる判断した場合に減速して譲ることとした。

合流車の合流行動は、自車よりも後方を走行する全ての本線車に対して、合流希望の旨をブロードキャスト通信によって伝える。さらに、合流区間を走行中に自車の前方及び後方の本線車との車間時間を算出し、設定した閾値に従って合流の可能性を判断する。本実験では、合流車が合流可能と判断した時点で合流を行うこととした。

本線車の譲り行動は、合流車に対して、車車間通信の有無によりそれぞれ異なる閾値によって譲る可否の判断を行うこととした。譲る判断を行った本線車は、最大速度の 6 割を下限として減速を行うこととした。

上記に記した合流行動及び譲り行動の判断基準を表 1 に示す。

表 1 車両の合流行動及び譲り行動の判断基準

車種	判断場面	判断基準
合流車	合流区間走行時の合流可否判断	合流車と前方車との車間時間
	合流区間終点での合流可否判断	合流車と前方車との車間時間
本線車	ランプ区間走行中の合流車に対する本線車の譲る判断	ランプ区間終点での合流車との到着時間差
	合流区間走行中の合流車に対する本線車の譲る判断	合流区間終点での合流車との到着時間差

また、合流車が通信を行う位置として、ランプ区間から通信を行う場合と、合流区間に入ってから通信を行う場合との 2 種類を設定した。

<sup>†</sup> トヨタ自動車(株) TOYOTA MOTOR CORPORATION

<sup>‡</sup> (株)構造計画研究所 KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

#### 4.2. 交通量の設定

合流場面における通信の有用性の評価を行うため、今回は、本線車線上の交通量が比較的多い状況を表現することとし、本実験では、飽和交通流率の基本値を参考に、本線の交通量を 1,800 台/時間とした【7】。これに対して、合流車の交通量は本線車の発生台数より少なくなることを想定し 720 台/時間とした。

#### 4.3. 通信機器の搭載率

本実験では、双方向の車車間通信が普及する過程を分析するために、車両の通信機器の搭載率（以降、通信搭載率と呼ぶ）を、0、10、50、90%の4点でKPIを求めた。なお、通信頻度は20ms周期とした。

#### 4.4. KPI の評価

通信の効果による交通流の変化を評価するため、本実験では表 2 に示す3つのKPIに着目した。

表 2 評価したKPI

KPI	説明
合流車の平均旅行時間	合流車が発生してから消失するまでの時間の平均値
本線車の平均旅行時間	本線車が発生してから消失するまでの時間の平均値
特定地点までの合流回数	合流区間の始点から3分の2の地点までに合流が完了した回数

### 5. 実験結果

本実験では、上記の各KPIについて、各施行時間を3分間とし、それを50回繰り返すことで平均値を求めた。以降、実験結果として得られた各KPIに関して説明する。

#### 5.1. 合流車の平均旅行時間

図 2 に示すように、通信搭載率の増加に伴い、合流車の平均旅行時間が短くなっており、より円滑な合流が進んでいることがわかる。また、ランプ区間から通信する場合の方が、平均旅行時間が短いという結果から、より手前から通信を行った方がその効果が高いことが判明した。

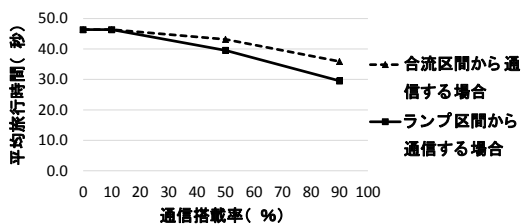


図 2 合流車の平均旅行時間

#### 5.2. 本線車の平均旅行時間

図 3 に本線車の平均旅行時間を示す。合流希望の通信を受けて譲り行動が増えることにより、本線の交通流の円滑さを損なう可能性が懸念されたが、図 3 に示すように、通信搭載率が増加しても本線車の平均旅行時間にほとんど変化が見られなかった。従って、本線車が合流車の要求に応じて円滑な交通流が維持されていることがわかる。また、合流車が通信を行う位置によらず、この傾向は同じであった。

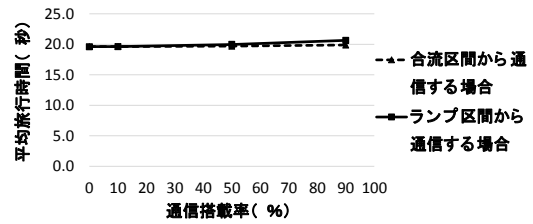


図 3 本線車の平均旅行時間

#### 5.3. 特定地点までの合流回数

このKPIは、合流区間の始点から終点までの距離の内、始点から3分の2の地点に進むまでに合流できた回数を示す。図 4 に示すように、通信搭載率の増加に伴い、特定地点までの合流回数が増加しており、合流が円滑に進んでいることがわかる。また、ランプ区間から通信する場合の方が、特定地点までの合流回数が多いことが判明した。これも、前述同様、より手前からの通信を行うことに効果があるものと考えられる。

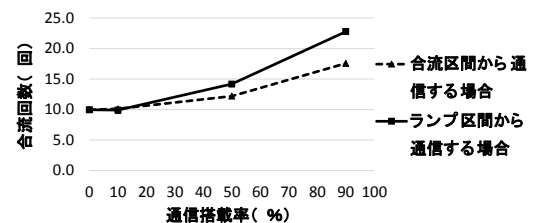


図 4 特定地点までの合流回数

### 6. おわりに

本実験では、双方向の車車間通信の有用性を検討するために、高速道路での合流場面を例題とし、マルチエージェント・シミュレータを用いて交通流の評価を行った。その結果、合流車が通信を行うことにより、本線車の譲り行動が促され、合流しやすくなり、さらに、この譲り行動が本線の交通流を妨げる影響も少ないということが判明した。

#### 参考文献

- [1] NHTSA: U.S. DOT Advances Deployment of Connected Vehicle Technology to Prevent Hundreds of Thousands of Crashes. (2016). <https://bit.ly/2hMmtSk>.
- [2] Raja Sengupta et al, "Cooperative Collision Warning Systems: Concept Definition and Experimental Implementation. Journal of Intelligent Transportation Systems, 11, 3, 143{155 (2007)
- [3] Toshiyuki Hagiya, Kazunari Nawa, "Acceptability Evaluation of Inter-driver Interaction via a Vehicle Agent Using Vehicle-to-Vehicle Communication on a Driving Simulator", Journal of Information Processing Vol. 29, pp667-675 (2021)
- [4] 脇田佑希子,井口智彦,清水光輝,北栄輔,"セルオートマトン法による道路合流部の交通流シミュレーション", 計算数理工学論文集 Vol. 9 (2009)
- [5] 総務省,"自動運転, Connected の実現に向けた動向と総務省の取組(2018)
- [6] 小川倫, 北上靖大, "マルチエージェント・シミュレーション用ソフトウェア artisoc Cloud の紹介", オペレーションズ・リサーチ: 経営の科学, Vol. 65 No. 4, pp. 206-211 (2020)
- [7] 飯田恭敬, 北村隆一, "交通工学", オーム社, 2008