

## 車車間通信を用いた車線変更協調方式の検討

後藤 剛次<sup>†1</sup> 田 学軍<sup>†1</sup>  
井手口 哲夫<sup>†1</sup> 奥田 隆史<sup>†1</sup>

近年、交通事故や交通渋滞の問題を解決するために、ITS (Intelligent Transport System) といった交通流の円滑化を図るシステムの研究が盛んに行われている。現在、ITS では協調走行と呼ばれる、周辺車両と協力することで交通流における問題を解決する走行方法が期待されている。協調走行において、事故を未然に防止するサービスは数多く開発されているが、いずれもドライバに対して情報を提供するだけで、ドライバが提供情報から主観的な運転を行うことで周辺車両に与える影響が最適であるかはあまり議論されていない。また、走行車両全体の省エネルギーに関する検討はほとんどなされていない。そこで本研究では、協調走行を実現する方法として、周辺車両の情報から客観的に最適だと判断できる運転行動を求める手法と、周辺車両との間で車車間通信による合意形成アルゴリズムを提案する。

### Scheduling for Cooperatively Lane Changing by Inter-Vehicle Communication

TSUYOSHI GOTO,<sup>†1</sup> XUEJUN TIAN,<sup>†1</sup> TETSUO IDEGUCHI<sup>†1</sup>  
and TAKASHI OKUDA<sup>†1</sup>

In recent years, ITS(Intelligent Transport System) to facilitate traffic flow to run smoothly for solving the problem of traffic accidents and traffic congestion is being researched actively in the world. In ITS, cooperative driving in a way of working with surrounding vehicles is expected to be a potential method. Much of applications to prevent traffic accidents have been developed. However, most of them just provide information to drivers rather than a method for running efficiently. In this paper, in order to realize the cooperative driving, we propose a consensus algorithm by inter-vehicle communication between surrounding vehicles and method leading to objectively optimal action among to around vehicle information.

### 1. はじめに

現代社会において、自動車は輸送および、移手段として欠くことは出来ない要素の一つである。しかし、毎年、自動車による交通事故や、渋滞などの問題が発生し続けている。近年では、このような問題を解決するために、ITS (Intelligent Transport System)<sup>1)</sup> といった交通流の円滑化を図るシステムの研究が盛んに行われている。現在、ITS では協調走行と呼ばれる、周辺車両と協力することで交通流における問題を解決する走行方法について我らの研究室で研究を進めている。協調走行において、事故を未然に防止するサービスは数多く開発されているが、いずれもドライバに対して情報を提供するだけのプリクラッシュセーフティシステムであり、提供情報からドライバが主観的にとる運転行動やその行動が周辺車両に与える影響が最適であるかは議論されていない。ITS は、交通流の円滑化を通じて省エネルギー・CO<sub>2</sub> 排出量削減に貢献する重要な技術として位置づけられている。併せて、省エネルギー化効果の高い ITS の実用化を促進し、自動車産業のエネルギー・環境対策に貢献する「エネルギー ITS」<sup>2)</sup> の促進が提唱されている。エネルギー ITS では、自動車単体の性能を向上し、トップランナーとしての理想燃費を実現する車両を開発するものではなく、走行方法や渋滞による無駄な燃料消費を ITS により軽減し、実走行燃費を理想燃費に近づけることをポテンシャルとしている。一方、高速道路渋滞地点の 22% は合流が占める。合流部で渋滞が起こる理由として、車線変更が考えられる。また車線変更は高速道路合流でなく様々な環境においても交通流に悪影響を与える多くの車両行動の一つとして挙げられる。故に、協調走行の実現には車線変更が密接に関係するため、車線変更を円滑に行う方法を検討することが不可欠である。そこで本稿では、エネルギー ITS の観点から、車群として最適な走行を実現するために、車線変更を対象とした協調走行方法を通信による合意形成アルゴリズムと周辺車両の情報から客観的に最適だと判断できる車両行動を求める手法を燃料消費量に着目して提案し、後述する通常走行モデルとシミュレーションによる比較・検討を行い、有効性を確認する。

<sup>†1</sup> 愛知県立大学  
Aichi Prefectural University

## 2. 通常走行モデル

### 2.1 追従走行モデル：IDM (Intelligent Driver Model)

本研究で使用するドライバモデルは Treiber らによって提案された Intelligent Driver Model (IDM)<sup>3)</sup> である。IDM は追従型走行モデル (Car-following model) で、ドライバの行動は加速度によって特徴付けられる。IDM は前方車との相対速度から適切な車間距離  $s^*$  を計算し、 $s^*$  と希望速度から加速度を計算するモデルである。このモデルでは車両の加速度は式 (1) で表される。

$$\dot{v} = a \left[ 1 - \left( \frac{v_n}{v_0} \right)^4 - \left( \frac{s^*(v_n, \Delta v_n)}{s_n} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$s^*(v, \Delta v) = s_0 + \max \left( Tv + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}, 0 \right) \quad (2)$$

$$s_n(t) = [x_{n-1} - x_n - l] \quad (3)$$

$$\Delta v_n(t) = [v_n(t) - v_{n+1}(t)] \quad (4)$$

式 (1) の  $s^*$  は必要とされる車間距離で、この距離は式 (2) で計算される。 $x$  は基準点からの距離、 $n$  は第  $n$  番目の車両で自車両を指す。式 (2) において、 $s_0$  は前方車から自車両までの安全とされる最小距離で、停止時の車間距離とも言える。 $T$  は安全とされる最小車間時間 (反応時間) で、 $v_n(t)$  は自車両の速度で、 $v_{n+1}(t)$  は先行車両の速度である。 $a$  と  $b$  はそれぞれ最大加速度と最大減速度である。 $l$  は車両長である。

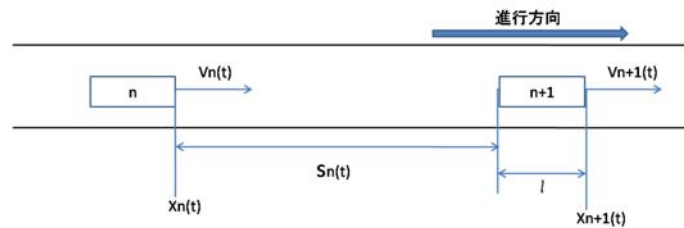


図 1 走行モデル

前方車がない場合は車間距離がないため ( $\delta = 0$ ) 加速度は式 (5) で表せる。

$$\dot{v} = a \left[ 1 - \left( \frac{v_n}{v_0} \right)^4 \right] \quad (5)$$

一方、前方車がいる場合はブレーキ操作による減速は  $(s^*/s_n)^2$  によって行われる。

このモデルでは前方車がいる場合、自車両の速度が前方車の速度に近づくときに加速度はある値から 0 まで減少する。前方車との車間距離  $s_n$  が必要とされる車間距離  $s^*$  に近づくとき加速度も 0 に減少する。本研究ではこのモデルを使用し、実装した。

### 2.2 車線変更モデル

#### 2.2.1 車線変更誘発条件

ドライバが車線変更を欲するモデルを式 (6) と表す<sup>4)</sup>。 $x_0$  を目的地の位置、 $x$  を自車の現在地とすると、ドライバは目的地までの距離に依存して車線変更を欲するモデルを確率的に表すことができる<sup>4)</sup>。 $a$  は固有定数であり、 $a$  が変動することでドライバが目的地に達するまで余裕を持って車線変更するか、目的地寸前にならないと車線変更の要求が発生するかを決定する。つまり、ドライバの個性を表す役割を果たす。

$$P(x_0 - x) = \frac{1}{e^{a(x_0 - x)^2}} \quad (6)$$

#### 2.2.2 車線変更条件<sup>5)</sup>

先行車を  $F$ 、後方車を  $B$ 、車線変更車を  $LC$  (Lane Change) とし、 $x_f, x_{LC}, x_b$  を各車両の位置、 $v_f, v_{LC}, v_b$  を各車両の速度とする。 $l$  を車両長、 $t$  を判断時間もしくは車線変更の所要時間とする。車線変更条件は以下の式 (7) と式 (8) を満たす時、つまり、自車が先行車と後方車との間で  $t$  秒後も走行している場合、車線変更が行える状態とする。本研究では、 $t$  を車線変更の所要時間としており、3 秒間としている。

$$f = x_f - x_{LC} - L + (V_f - V_{LC})t \geq 0 \quad (7)$$

$$b = x_{LC} - x_b - L + (V_{LC} - V_f)t \geq 0 \quad (8)$$

#### 2.2.3 車線変更安全条件

2.2.2 節では、車線変更が行える条件を示した。しかし、その車線変更が安全かどうかは考慮されておらず、車線変更後に車線変更車もしくは後続車が急ブレーキすることで、車両の接触事故、もしくは渋滞を引き起こすこともある。そこで、車線変更に安全条件を設ける。その安全条件を式 (9) に示す。 $acc(B)$  は車線変更後に車線変更先の後続車の減速度を表す。 $acc(B)$  は式 (1) から算出する。 $acc(B)$  が安全条件として設定した減速度  $b_{save}$  よりも大きければ車線変更が可能とする<sup>6)</sup>。

$$acc(B) > -b_{save} \quad (9)$$

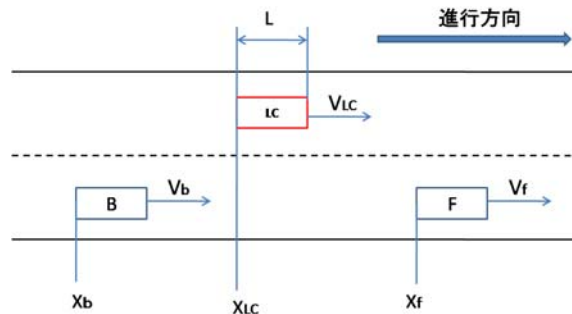


図2 車線変更条件

### 3. 車線変更における協調走行方式の提案

#### 3.1 協調走行の概要

本稿では、交通効率・省エネ効果を向上させる協調走行手法を提案する。本提案における協調走行には以下のような特徴がある。

- アクティブ型通信  
 物理的に車間距離を感知し、自分の決定を通知する方式と異なり、行動する前に意図を周知し、合意・協力を得る方式
- 合意の最適化  
 各車両が個々の行動利益（本稿では、自車の希望速度を満たすための加速や、車線変更を指す）を、各車において主観によるものでなく、客観的に関連車両の状況から交通流全体の利益を最大化する共通の最適化規則に基づいて合意の形成を行う
- 通常走行時の運転支援アプリケーション  
 緊急時のアプリケーションではなく、通常走行時の運転支援アプリケーション

#### 3.2 想定環境

本研究では想定する環境・前提条件を以下に示す。

- 車両が道路上に走行し、無線通信機器、位置を取得できる機器を持ち、車両の位置・速度等の車両情報は車車間通信を用いて定期的に交換しているものとする。
- 通信遅延等の通信特性の様相を配慮して、通信特性の影響が最も少ない車車間通信による通信可能範囲は直接通信可能（1 ホップ）な範囲とする。
- 車群制御のみに着目し、単体車両制御について詳細に検討しない。

#### 3.3 協調行動時における各車両の役割

本研究の提案する協調走行方式では、協調行動において各車両は役割が与えられる。各車両の役割は、「要求車」、「協調車」、「境界車」の3つに分類する。以下に各車両の役割の詳細について説明する。また、本研究における協調走行の概念図を図3に示す。

- 要求車  
 自車の行動を効率的に実行するために、自車と関連車両の最適な協調行動を算出し、周辺車両に周知し、合意形成を図る。本研究では、車線変更を行う車両とする。最適な協調行動の算出方法は3.5節にて後述する。
- 協調車  
 要求車に協調行動を要求された車両。協調車の具体的な協調内容は、要求車が安全な車線変更できる車間距離を確保するための加減速のみとする。また、協調車は協調走行をしている時は利己的な行動（車線変更、希望速度に達するための加速）をしないものとする。
- 境界車  
 要求車が算出した最適な協調規則は要求車の通信可能範囲で算出される。したがって、複数の要求車から協調要求を受けた場合、異なる協調行動を同時に行うことは不可能であり、協調内容に不整合が起こる。このような不整合な内容になると協調行動に干渉が生じる。  
 そこで、境界車は通信範囲外の情報を把握し、合意の可否を判断する。合意の可否は境界車が、他の要求車の協調車であるかを基準としている。要求車が協調要求時に通信可能範囲の境界位置を走行する車両から前後方一台ずつ選択する。また、境界車は協調車と同様の役割も果たす。

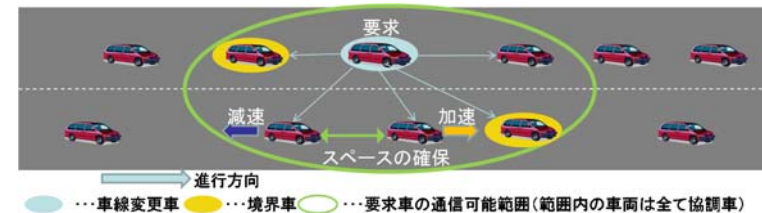


図3 本研究における協調走行の概要

### 3.4 各車両間の合意形成アルゴリズム

前節では、協調走行における各車両の役割について説明した。本節では、要求車が車車間通信を要求を出してから、合意形成を行うまでのアルゴリズムについて説明する。

- (1) 要求車（車線変更車）は要求メッセージをブロードキャストする。要求メッセージには以下の内容を含む。
  - 関連車両（協調行動をする車両）に対して最適な協調行動規則に基づいた要求内容
  - 位置情報から算出した境界車両の指定
- (2) 要求メッセージを受信した車両
  - 境界車  
自車が他の要求車の協調車であれば、干渉が生じる可能性があるため、棄却メッセージを返信する。どの要求車の協調車でなければ、合意メッセージを送信する。
  - 協調車  
車線変更が安全に実行できる車間距離を確保する協調行動を行う。
- (3) 境界車から要求メッセージに対する返信を受信した要求車
  - 棄却メッセージ  
要求取り消しメッセージをブロードキャスト
  - 合意メッセージ  
協調行動を開始し、車線変更の条件を満たす時、車線変更開始メッセージをブロードキャストし、車線変更を実行する。
- (4) 要求取り消し・車線変更開始メッセージを受信した車両は通常走行に切り替える。

### 3.5 協調行動の最適化手法

本節では、要求車が要求を行う際に、周辺車両の位置・速度情報から最適な協調行動を算出する手法について説明する。車車間通信を用いて車線変更を通知する前段階で、要求車は周辺車両の位置・速度情報から安全な距離を確保するために、各車両が取りうる協調行動の候補を算出する。数ある協調行動の中から、協調走行時の加速度  $a_{coop}$ 、協調時間  $T$ 、燃料消費量  $F$  という条件の下で可能な選択肢から要求内容を決定する。本研究では、協調時間は協調行動を始めてから終了するまでの時間とする。

ある協調時間  $T$  において、各車間を車線変更先の目的車間とし、目的車間の前後方車両が加速・減速することで、安全な車線変更が可能となる車間距離を確保できる車両行動の組

み合わせを協調行動の候補とする。

ここで、図4に示すように、要求車を  $LC$  とし走行速度を  $V_{LC}$ 、目的車間の隣接車線前方車を  $F$  とし走行速度を  $V_f$ 、目的車間の隣接車線後方車を  $B$  とし走行速度  $V_b$  とする。また、協調時間を  $T$  とする。円滑に車線変更するためには、 $T$  秒後に目的車間に安全に車線変更する際に適切な進入速度であることが望ましい。例えば、要求車の速度が目的車間の前方車の速度より速い場合、車線変更後に急ブレーキをすることもあり得る。急ブレーキによって後続車に影響を与えることを考慮すると、車線変更後に大きな加減速が行わないように速度調整する必要がある。この大きな加減速が行わない速度を適切な進入速度とする。適切な進入速度は以下の示すように設定する。

- $V_f > V_b$ 
  - 要求車が目的車間前方車よりも前方を走行している場合、前方車の速度を進入速度とする
  - 要求車が目的車間後方車よりも後方を走行している場合、後方車の速度を進入速度とする
- $V_f \leq V_b$ 
  - 前方車の速度を進入速度とする。

ただし、進入速度が要求車の希望速度よりも速くなる場合は、要求者の希望速度を進入速度とする。

設定した進入速度で、安全な車線変更が可能となる車間距離を確保するために協調行動が必要な距離を  $CD(Cooperate\_Distance)$ 、安全な車線変更が可能な理想的な車間距離を  $ID(Ideal\_Distance)$ 、実際の車間距離を  $AD(Actual\_Distance)$ 、車両長を  $L$  とすると、算出式を式(10)のように示すことができる(図5)。先行車との安全な車間距離を  $SD(Safety\_Disntance)$  とすると、 $ID$  は要求車と目的車間前方車との速度から算出した安全な距離  $SD_{LC}$  と、要求車と目的車間後方車との速度から算出した安全な距離  $SD_B$  と要求車の車両長を加算したもので表す(式(12))。式(12)の第1項と第2項はロングチュージナルモデルであるIDM(Intelligent Driver Model)(式(1))を応用したものであり、進入速度を  $Approach\_V$  と表す。

$$CD = SD + (V_f - V_b)T - AD$$

$$ID = SD_{LC} + SD_B + L$$

$$SD = \frac{s^*}{\sqrt{1 - \left(\frac{Approach-V}{v_0}\right)^4 - \left(\frac{b_{save}}{a}\right)}}$$

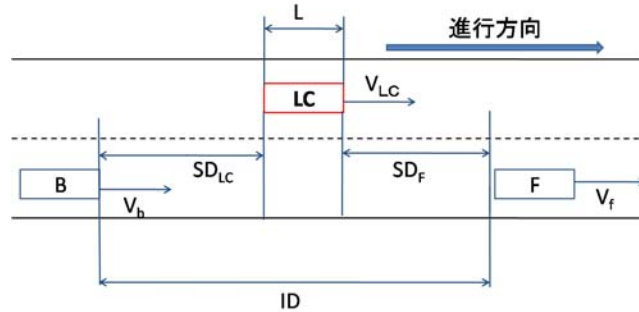


図4 IDの算出

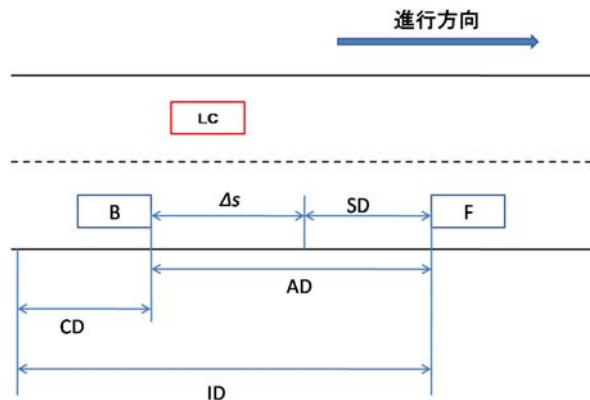


図5 協調距離の算出

式(10)で求めた協調距離  $CD$  を協調行動によって確保するために、周辺車両の協調行動を行う車両台数の組み合わせ  $(N, M)$  を算出する。  $N$  は要求車より前方の隣接車線走行車

両の協調車両台数、  $M$  は要求車より後方の隣接車線走行車両の協調車両台数を表す。組み合わせは以下の式(13)の条件の下で算出する。

$$\sum_{n=1}^N \Delta s_{n,n+1} + \sum_{m=1}^M \Delta s_{m,m+1} \geq CD_i \quad (13)$$

$$\Delta s_{n,n+1} = AD_{n,n+1} - SD_{n,n+1} \quad (14)$$

$i$  は目標車間、  $n$  は隣接車線前方車両、  $m$  は隣接車線前方車両とし、式(14)の  $\Delta s$  は協調車両が協調可能な距離と定義する。  $\Delta s$  は実際の車間距離  $AD$  と安全な車間距離  $SD$ (式(12))の差分から計算できる。また、目的車間  $i$  に到達するには要求車が走行する車線上の車両にも協調行動を求める場合がある。例えば、要求車走行車線上の車両が協調行動をせず走行していた場合、協調時間  $T$  秒後に目的車間  $i$  と要求車との間に車両が走行していると要求車は目的車間  $i$  に車線変更できない。そのため、要求車が走行する車線上の車両も協調行動を行う必要がある。要求車が走行する車線上の車両の協調行動の算出方法は、要求車が協調時間  $T$  秒後に目的車間  $i$  に車線変更できる位置を走行するために、要求車の前方、もしくは後方車両がど加減速によってスペースを確保する。協調する台数は、隣接車線上の協調台数の組み合わせを算出するのと同様に、式(13)と式(14)から求めることができる。

本研究では、式(13)の条件に適した協調車両の各組み合わせにおいて、目的車間の前方車は加速、後方車は減速をするものとする。この前提の下で、各組み合わせにおいて、安全な車間距離を確保するための協調行動における加速度と協調行動に費やす燃料消費量を求める。

最初に、協調行動時の加速度  $a_{coop}$  を算出する。  $a_{coop}$  は協調時間  $T$ (sec) 以内に要求車が車線変更車できる位置を安全な進入速度で走行し、目的車間に安全な車間距離を確保するために、各車両がスペース  $\sum_{j=n}^N \Delta s_{j,j+1}$  を空けるのに必要な加速度である。各組み合わせにおいて、協調時間が  $t_0$  から最大協調時間  $T_{max}$  まで、ある一定間隔毎の時間  $T_i$  について加速度を算出する。  $a_{coop}$  の算出を式(15)に示す。協調開始時の速度から加速し続けると進入速度を超過することがある。故に、加速後に減速し進入速度に調整する時間が必要であるため  $t$  を設けた。  $t$  は、加速から減速に切り替わる時間であり、  $0 < t < T$  を満たすものとする。

- if  $2t - T \neq 0$

$$\begin{cases} a_{coop} = \frac{Approach\_V - v_0}{2t - T} \\ 2a_{coop}Tt - a_{coop}t^2 - \frac{1}{2}a_{coop}T^2 = \sum_{j=n}^N \Delta s_{j,j+1} \end{cases} \quad (15)$$

• else if  $2t - T = 0$

$$a_{coop} = \frac{4 \sum_{j=n}^N \Delta s_{j,j+1}}{T^2} \quad (16)$$

また、本研究では、安全かつ効率的な車線変更を行うことを目的としているため、急加速や急減速は望ましくない。そこで制約条件を設定し、条件を満たさない協調行動の候補は破棄する。制約条件は式 (17)、式 (18) に示す。 $a_{max}$  は最大加速度、 $b_{max}$  は最大減速度とする。

$$0 < T < T_{max} \quad (17)$$

$$b_{max} < a < a_{max} \quad (18)$$

協調車両台数の組み合わせにおいて、各協調時間について協調に必要な加速度を上記の条件に従って求めたものを協調行動の候補とする。この協調行動の各候補において、協調行動に費やす燃料消費量を算出する。算出方法は燃料消費量を算出する理論モデル<sup>7)</sup>を使用する。この理論モデルは、熱力学と運動方程式から導出されたモデルである。以下の式 (19) にそのモデルを示す。また、このモデルパラメータを以下の表 1 に示す。

$$F_t = f_{(idle)} + \frac{(\mu + \sin\theta)MG}{\epsilon\eta H}v + \frac{\kappa}{\epsilon\eta H}v^3 + \frac{M + m}{\epsilon\eta H}\alpha v \quad (19)$$

変数	定義
$\mu$	転がり摩擦係数
$M$	車両質量 (kg)
$g$	重力加速度 ( $m/s^2$ )
$\kappa$	抵抗係数 (kg/m)
$\theta$	路面勾配
$m$	加速時回転部分相当質量 (ギアの質量) (kg)
$\alpha$	車両加速度 ( $m/s^2$ )
$\eta$	総伝達効率
$\epsilon$	熱効率
$H$	ガソリンの熱量 (J/cc)

表 1 燃料消費量理論モデルのパラメータ

$f_i$  は  $t$  秒間あたりの燃料消費量を意味し、 $f_{idle}$  はアイドリング中に消費する燃料消費量を意味し固定値とする。本研究では、道路環境や車両環境については詳細に言及しない

め、速度  $v$  と加速度  $a$  以外のパラメータは固定値で扱う。

ここで、各協調行動の候補から最適な協調行動を求める。最適な協調行動を決める判断関数を  $L$  とする。判断関数  $L$  を以下の式 (20) に示す。

$$L(N, M, i) = \left( \sum_{n=0}^N F_n + \sum_{m=0}^M F_m \right) T \quad (20)$$

$n$  は目的車間  $i$  から前方に何番目かを表し、 $m$  は目的車間  $i$  から前方に何番目かを表す。 $F$  は各協調車両が協調行動に費やす燃料消費量とする。 $L$  が最小となる協調行動の候補を最適な協調行動とする。前述した合意形成アルゴリズムに従い、求めた協調行動に合意を得た上で協調行動を実行する。

#### 4. 評価

本節では、提案した車線変更における協調走行方式の有効性を検証するために、シミュレーションによる評価を行う。評価は 2 節で述べた通常走行モデルと提案した協調走行方式を比較する。

##### 4.1 シミュレーション環境

本稿では、簡単化のために道路環境は、車線規制がある場合の片方向 2 車線道路において評価する。片方向 2 車線道路の左車線の道路終端より 200m の区間に車線規制区間を設ける。この道路環境では、左車線の車両は必ず車線変更しなければならない状況、すなわちボトルネック部分であり、交通流にどれだけ影響があるかを通常走行と提案する協調走行方式とで比較する。

図 6 に道路環境、表 2 にシミュレーションのパラメータを示す。

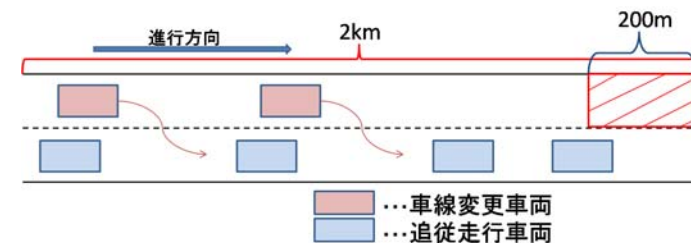


図 6 車線規制のある 2 車線道路環境

シミュレーション環境	数値
道路環境	2車線道路
道路長	2km
車線規制区間	道路終端より 200m
車両環境	一般車両 (排気量 1300cc 程度を想定)
平均流入速度	80(km/h)
車両流入量	1000 ~ 2000 (台/1 時間)
車線変更車両割合	30%, 50%
車両生起	指数分布に従う
車両割合 (左車線)	30%, 50%
シミュレーション時間	1 時間
ステップ数	0.1(s/step)
最大加速度	$2m/s^2$
最大減速度	$5m/s^2$
車線変更安全条件	$-2m/s^2$
急減速度	$-2m/s^2$
協調時間	0 ~ 20(s)
ドライバの反応時間	1.8s
通信可能範囲	半径 250m

表 2 シミュレーション環境

#### 4.2 シミュレーション結果

評価項目は、急減速回数、平均速度、エコドライブ評価<sup>8)</sup>とする。以下に各評価項目の詳細を示す。

- 急減速回数

各車両が流出するまでに、1ステップあたり急減速した回数

- 平均速度

各車両が流出するまでの平均速度

- エコドライブ評価

無駄な加減速が多いと燃料消費量も増加する。そこでエコドライブ評価を行うことで無駄な運転行動が少なくなるかを評価する。エコドライブを評価を  $EE(Edodriving\_Evaluation)$ 、実際の燃料消費量を  $AF(Actual\_Fuel)$ 、流入から流出までの平均速度で定常走行した時の燃料消費量を  $IF(Ideal\_Fuel)$  とすると以下の式のように表す。

$$EE = \frac{100AF}{IF} \quad (21)$$

各グラフはシミュレーションを3回行ない、その平均値から作成した。各グラフの赤線は通常走行（車線変更車両割合 30%）、青線は通常走行（車線変更車両割合 50%）、緑線は協調走行（車線変更車両割合 30%）、ピンク線は協調走行（車線変更車両割合 50%）を示す。

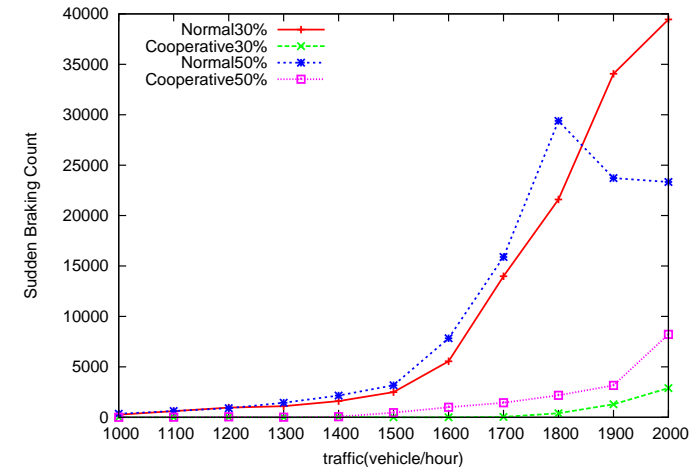


図 7 流出車両の平均速度

図 7, 図 8, 図 9 にシミュレーション結果を示す。結果から、急減速回数の抑制を図り、協調行動によって通常走行より安全かつ円滑な車線変更は実現できた。

高流入量時において、通常走行と比較すると大きな改善は得られているが、急減速回数が若干増加している。これは、本研究の提案する合意形成アルゴリズムにより、1台の要求者の協調行動中は、他の要求者の自車、または、関連車両が協調車両である時に合意達成が不可能であるため、車線変更車が要求の機会損失が多くなり、急な車線変更をしてしまうことに原因があると考察できる。

また、低流入量時では、通常走行と比較して、ほぼ同等の平均速度でエコドライブ評価が向上した。これにより、無駄な加減速を抑制し、燃料消費量の削減が実現できたことを確認できた。車線変更車両の割合が増加すると燃料消費量、エコドライブ評価のどちらも車線変更車両割合が少ない時よりも悪化している。これは、1台の車線変更車のための協調行動が最

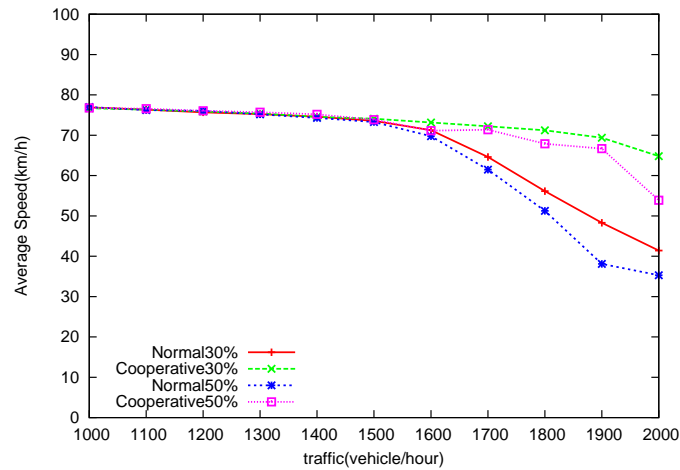


図 8 流出車両の平均速度

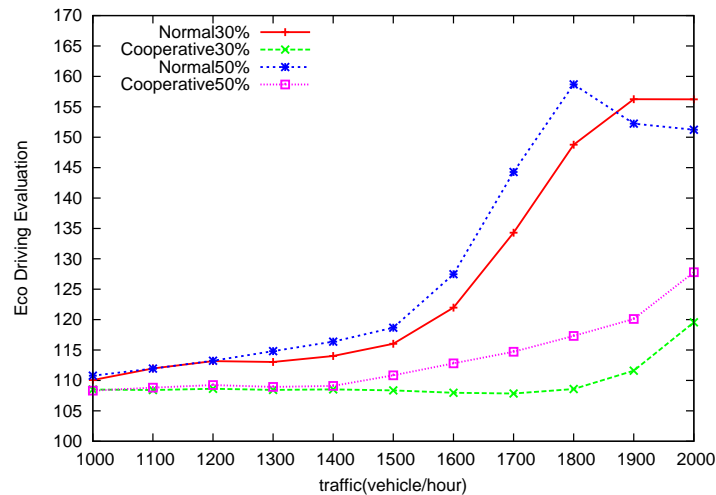


図 9 エコドライブ評価

適であっても、何台かの要求に対する協調行動を繰り返すことで、結果的に無駄な加減速となることが考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、車線変更を合意・協力することで、個々の利益を交通流全体の利益とする走行手法を提案し、シミュレーションによる評価より、急減速回数の低減と無駄な加減速の抑制から燃料消費量の削減を図ることができ、提案の有効性を確認した。

今後の課題として、協調行動の回数の増加にともない燃料消費量が増えることから、複数台の車線変更車両の行動が交通流全体の利益を最大化する協調走行方式の検討が必要である。

## 謝辞

本研究の一部は、平成 23 年度文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (20300030) の支援を受けて行った。

## 参考文献

- 1) 特定非営利活動法人 ITS Japan, ITS とは, <http://www.its-jp.org/about>
- 2) エネルギー ITS 研究会, エネルギー ITS の推進に向けて, 2008.
- 3) Martin Treiber, Ansgar Hennecke, and Dirk Helbing, Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, Phys.Rev.E, Vol.62, No.2, pp.1805-1824, Aug 2000.
- 4) 只木進一, 高速道路交通流の実測データと二車線模型, 応用数理 12(2), 119-127, 2002.
- 5) 王興拳, 宮城俊彦, 渋滞波及現象によるオンランプ区間での混雑現象の解析, 交通工学研究発表会論文報告集, 26th, pp.29-32, 2006.
- 6) Martin Treiber, Arne Kesting, and Dirk Helbing, "General Lane-Changing Model MOBIL for Car-Following Models", Transportation Research Record Vol. 1999 / 2007, pp.86-94 2007.
- 7) 大口敬, 片倉正彦, 谷口正明, 都市部道路交通における自動車の二酸化炭素排出量推定モデル, 土木学会論文集, No.695/ -54, pp.125-136, 2002.
- 8) 岡村整, 小泉大城, 小谷野真司, 横田久司エコドライブの定量的評価法に関する研究-仮想車両モデルを用いた車両の標準化-, 東京環境科学研究所年報, 2008.