

# ACC 車両の混入状況を変化させたときの渋滞緩和効果 並びにガソリン/エネルギー消費量削減効果の検証

加島 庸介 安藤 崇央

交通渋滞に対して ACC 搭載車両を混入させると、渋滞緩和に効果があることが確認されている。本研究では、シミュレータ上で新たに ACC 搭載車両の混入率や配置といった条件を変更できる実装を行った。そして、ACC 車両の混入条件を変更したときの渋滞緩和効果やガソリン車の消費ガソリン量、電気自動車の消費エネルギー量削減効果の検証を行った。その結果、混入率を増加させる事による渋滞緩和効果と消費ガソリン量の減少、消費エネルギー量の増加が確認できた。また、配置については前方に配置することによって渋滞緩和効果や消費量減少により効果的であることが確認できた。

## 1 はじめに

これまでの研究で、主に高速道路において車間距離制御装置搭載車両 (ACC 車両) を混入させると、渋滞緩和に効果があることが確認されている [1]。しかし、ACC 車両の混入状況については混入率を変化させる程度の確認でとどまり、混入率や配置の変化と渋滞緩和効果の関係については確認されていない。

また、世界的にカーボンニュートラルについての関心が高まっており、政府は 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにするを目標と宣言した。そして、カーボンニュートラルの達成のためには、自動車の温室効果ガス排出量を削減することは急務であるといえる。しかし、渋滞緩和によるガソリン車の消費ガソリン量/電気自動車の消費エネルギー量の削減効果についてはあまり確認されていない。

本研究では、交通流のシミュレータ上にて、新たに ACC 車両の混入状況を変化できるような実装を行

う。そして、ACC 車両の混入状況を変化させたときの渋滞緩和効果並びにガソリン/エネルギー消費量を検証し、その傾向を調査する。

## 2 準備

### 2.1 マルチエージェント・シミュレーション (MAS)

マルチエージェント・シミュレーション (以下 MAS) とは、複数のエージェントそれぞれが独自のルールで行動し、相互に影響しあうシミュレーションモデルのことである。本研究では、交通渋滞のような個々のオブジェクトの相互作用で発生する現象のシミュレーションに最適であると考え、MAS に特化したシミュレーションプラットフォームである artisoc Cloud を用いた。

### 2.2 関連研究

交通流の中でも、特に渋滞という現象面に注目して分野横断的に研究する学問として提唱した“渋滞学” [2] がある。この渋滞学はメディア露出などにより、交通流という研究に対して注目が集まる 1 つのきっかけとなっている。

交通流を再現する手段として、交通流モデルと呼ばれる数理モデルが考案されている。この交通流モデ

Checking Effects of Mixing Vehicles with ACC for Traffic Congestion and Reduction in Gasoline and Energy Consumption.

Yosuke Kashima, 群馬大学大学院情報学研究科, Graduate School of Informatics, Gunma University.

Takahiro Ando, 群馬大学大学院情報学研究科, Faculty of Informatics, Gunma University.



図1 サグ部

ルはシミュレーション上にて、マスが区切られた“離散モデル”と区切られていない“連続モデル”の大きく2つに分けられる。本研究では連続モデルを使用し、その関連研究として前走車との相対速度と車間距離から次の速度を決定する Intelligent Driver Model + (IDM+) を提案している [3] がある。

また、シミュレータを用いて ACC 車両による渋滞緩和効果を検証する研究として [1] がある。

### 3 既存モデル

本章では、先行研究で使用されていたモデルについての解説をおこなう。

#### 3.1 車両制御

車両の制御に Intelligent Driver Model + (IDM+) を用いる。IDM+は次ステップの加速度  $\frac{dv}{dt}$  を式1のように決定する。

$$\frac{dv}{dt} = a \cdot \min \left[ 1 - \left( \frac{v}{V_0} \right)^4, 1 - \left( \frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$s^*(v, \Delta v) = S_0 + vT + \frac{v\Delta v}{2\sqrt{ab}}$$

パラメータ

$a$ : 希望加速度,  $b$ : 希望減速度,  $V_0$ : 希望速度,  $T$ : 安全車間時間,  $S_0$ : 最低車間距離

状態変数

$v$ : 自車速度,  $\Delta v$ : 相対速度,  $s$ : 車間距離

#### 3.2 渋滞発生

高速道路における勾配変化 (サグ部) による速度低下を起因とした渋滞発生を再現する。サグ部とは、図1に示すように下り坂から上り坂に変わる V 字部分であり、傾斜の変化が緩やかで、上り坂に気づかずに減速してしまう。サグ部では、後述する ACC 車両を除いたすべての車両に対して一定の減速処理を行う。

また、一般車両は渋滞に長い時間巻き込まれることで、応答遅れが発生する。応答遅れとは、運転に対する飽きや疲れ等が原因で追従挙動が鈍化することである [4]。

#### 3.3 測定車列の設定

全車列の最後尾 50 台を測定車列とし、次の3つを測定する。

##### 旅行時間

測定車列が指定した区間を走りきるまでの時間を旅行時間として、渋滞緩和の指標として用いる。

##### ガソリン車の消費ガソリン量

測定車列の全車両がガソリン車であるとして、旅行時間と同様に指定した区間を走りきるまでに消費したガソリン量を測定する。

##### 電気自動車の消費エネルギー量

測定車列の全車両が電気自動車であるとして、同様の指定した区間を走りきるまでに消費したエネルギー量を測定する。

#### 3.4 ACC 車両の挙動

ACC 車両は一般車両と次の2点において異なる挙動をとる。

- ACC 車両はサグ部による減速を行わない
- ACC 車両は渋滞巻き込まれによる応答遅れを起こさない

### 4 改良モデル

#### 4.1 ACC 車両混入状況の変化

今回新たに、ACC 車両の混入率及び配置を変化させる実装を行った。

まず、ACC 車両の混入率については、測定車列 50 台のうち先頭の車両を除いた 49 台の中で 0 台から 49 台を任意に指定できるよう改良を行った。ここで測定車列の先頭の車両を除くのは、先頭の車両が ACC 車両であることよって測定車列だけが渋滞緩和に有利な動きをするのを防ぐためである。

次に、ACC 車両の配置について、2種類の配置が選択できるよう改良した。1つは連続配置で、図2のよう測定車列 50 台のうちの2台目を基準として、m

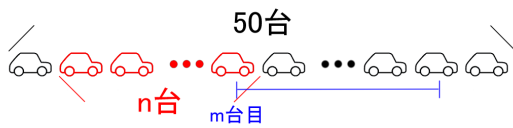


図2 連続配置

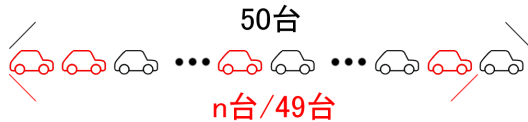


図3 ランダム配置

台目を連続で配置する ACC 車両の先頭とし、指定した台数 ( $n$  台) を配置するものである。もう 1 つはランダム配置で、図 3 のように測定車列の先頭を除いた 50 台のうちで、指定した台数 ( $n$  台) を乱数を用いてランダムに配置するものとした。

## 5 シミュレーション

### 5.1 条件設定

シミュレーションの条件設定は以下のようにする。

- ACC 車両のパラメータ設定は一般車両と同様に表 1 とする [3].
- ACC 車両の混入台数は 0 台から 49 台
- 配置
  1.  $m = 1$  の連続配置
  2.  $m = 50 - n$  の連続配置
  3. ランダム配置

まず、ACC 車両のパラメータ設定については、ACC 車両の混入台数と配置について調査することを目的としているため、一般車と同様のパラメータ設定とした。

次に、ACC 車両の混入台数については、設定可能なすべてのパターンである 0 台から 49 台までとし、ACC 車両の混入台数の傾向について確認する。

そして、ACC 車両の配置については、3 種類について行う。(1) の  $m = 1$  の連続配置では、図 4 に示すような測定車列 50 台の 2 台目を ACC 車両の連続の先頭として配置する。(2) の  $m = 50 - n$  の連続配置では、図 5 に示すような測定車列 50 台の最後尾で

表 1 一般車両と ACC 車両のパラメータ設定

パラメータ	設定値
$a$ : 希望加速	0.73 [m/s <sup>2</sup> ]
$b$ : 希望減速度	1.67 [m/s <sup>2</sup> ]
$V_0$ : 希望速度	80 [km/h]
$S_0$ : 最低車間距離	3.3 [m]
$T$ : 安全車間時間	1.39 [sec]



図4  $m = 1$  の連続配置



図5  $m = 50 - n$  の連続配置

ACC 車両が連続となるように配置する。(3) のランダム配置では、図 3 のように測定車列の先頭を除いた 50 台のうちで、指定した台数 ( $n$  台) を乱数を用いてランダムに配置する。

### 5.2 結果

まず、 $m = 1$  の連続配置における 0 台から 49 台の旅行時間、消費ガソリン量、消費エネルギー量の実行結果を図 6 に、 $m = 50 - n$  の連続配置における 0 台から 49 台の旅行時間、消費ガソリン量、消費エネルギー量の実行結果を図 7 に、ランダム配置における 0 台から 49 台の旅行時間、消費ガソリン量、消費エネルギー量の実行結果を図 8 にそれぞれ表す。

図 6、図 7、図 8 を見ると、それぞれ混入台数を増やすと旅行時間と消費ガソリン量は減少することが確認できる。しかし、消費エネルギー量については混入台数が多いときにわずかに増加している。

次に、同じ結果で配置を変化させたときの旅行時間、消費ガソリン量、消費エネルギー量の変化を確認するため、3 つの配置での旅行時間を図 9 に、消費ガソリン量を図 10 に、消費エネルギー量を図 11 にそれぞれ示す。

図 9、図 10 より、旅行時間と消費ガソリン量はすべての配置において減少傾向であるが、それぞれ各台

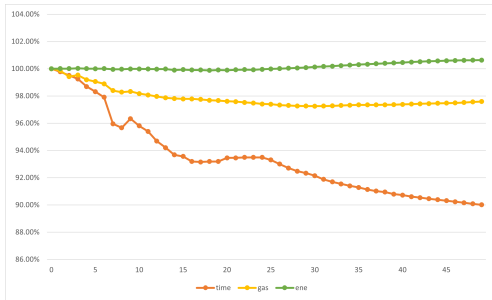


図 6  $m = 1$

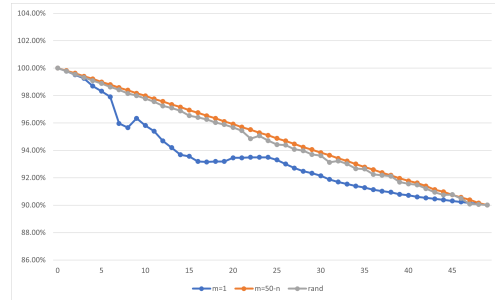


図 9 旅行時間

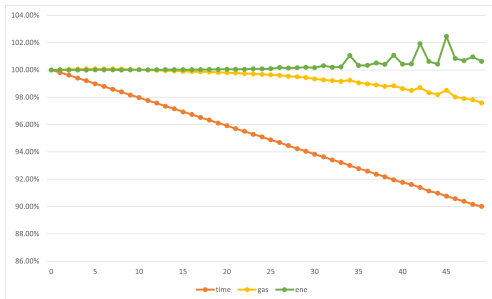


図 7  $m = 50 - n$

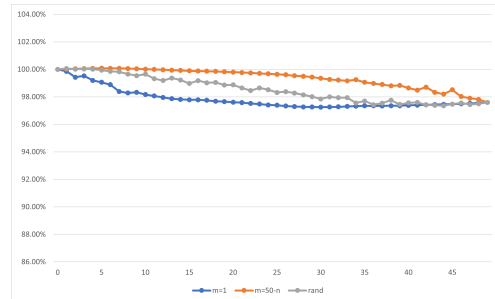


図 10 消費ガソリン量

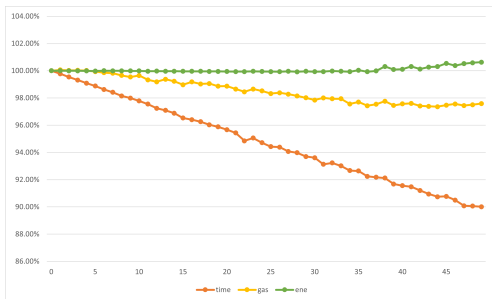


図 8 ランダム配置

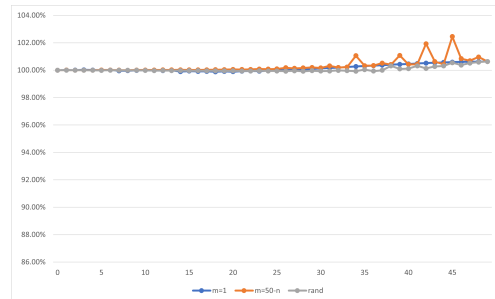


図 11 消費エネルギー量

数で減少幅が最も大きいものは  $m = 1$  配置であり、次に減少しているのがランダム配置、最も減少幅が小さいものが  $m = 50 - n$  配置である。

図 11 より、消費エネルギー量ではすべての配置でわずかな増加がみられるが、それぞれ各台数で増加幅が最も大きいものはランダム配置であり、次に増加しているのが  $m = 1$  配置、最も増加幅が小さいものが  $m = 50 - n$  配置である。また、 $m = 50 - n$  配置において混入台数が多い場合にいくつかの極端な増加が確認できる。

### 5.3 考察

#### 5.3.1 旅行時間

すべての配置において ACC 車両の混入台数を増やすことで旅行時間が減少した要因として、ACC 車両特有の次の 2 つの挙動が挙げられる。

- ACC 車両はサグ部でも減速しない
- ACC 車両は渋滞巻き込まれによる応答遅れを起こさない

ACC 車両の混入台数を増やすと、サグ部で減速を行わない車両が増える。また、渋滞巻き込まれによる応

答遅れ，すなわちそれぞれ1つ前の車両に機敏に追従する車両が増える．そのため，ACC車両の混入台数に応じて旅行時間が減少すると考える．

### 5.3.2 消費ガソリン量

すべての配置においてACC車両の混入台数を増やすことで旅行時間が減少した．その要因として，旅行時間減少によるアイドリング時間の減少，また平均車速の向上が考えられる．旅行時間が減少することは，停車時間が減少しているといえる．そのため，停車中のアイドリングでのガソリン量が減少したことで，全体として消費ガソリン量が減少したと考える．また，本研究で用いた消費ガソリンマップの特性上，平均車速が40[km/h]付近が燃費として有利となっている．ACC車両の混入台数が0台であったときの測定車列すべての平均車速は約27[km/h]，49台であったときの平均車速は約30[km/h]であった．そのため，平均車速が40[km/h]に近づいたことも消費ガソリン量減少に寄与したと考える．

### 5.3.3 消費エネルギー量

消費エネルギー量については旅行時間と消費ガソリン量と異なり，ACC車両の混入台数を増やすことで消費エネルギー量が増加している．ガソリン車と電気自動車のエネルギー消費上での相違点は，電気自動車は減速時にエネルギーを回収することができる点にある．また，電気自動車の消費エネルギー特性として，車速が高いほど効率が低下する特性[5]が挙げられる．すなわち，平均車速が上がるほどエネルギー消費も増える．旅行時間の減少は平均車速の向上であり，消費エネルギー量が増加したと考える．

## 6 まとめと今後の展望

本論文では，先行研究で実装されている交通流シミュレータ上に，新たにACC車両の混入率及び配置を変化させる実装を行った．そしてそのシミュレータを用いて，ACC車両の混入率及び配置と，渋滞緩

和効果並びにガソリン/エネルギー消費量削減効果の傾向について検証を行った．

ACC車両の混入率については，測定車列50台の中で0台から49台までを任意に指定可能とした．また，ACC車両の配置については，ACC車両の先頭位置を指定した連続配置及びランダム配置の実装を行った．新たに機能を実装したシミュレータを用いてACC車両の混入状況を変化させた結果，旅行時間及び消費ガソリン量については，混入台数に応じた減少が確認できた．また，ACC車両は前方に配置したほうがより効果的であるという結果となった．消費エネルギー量については，ACC車両の混入台数を増やすことで増加することが確認された．そして，これは電気自動車のエネルギー消費特性によるものだと結論付けた．

本論文でのシミュレーション結果は，旅行時間及びガソリン/エネルギー消費量ともに単調な減少や増加ではなかった．この要因について特定することが直近の課題として挙げられる．また，渋滞の発生要因を変更した場合での検証を行い，同様の傾向が確認できるかについて調査する必要があると考える．そして，先行研究で検証されている最適な車両制御のパラメータ設定について，本研究のシミュレーション環境においても検証を行いたいと考える．

## 参考文献

- [1] 岩崎健，鈴木一史，坂井康一，金澤文彦．Acc車両による高速道路サグ部における渋滞緩和効果．土木技術資料，No. 54-5，pp. 30-33，2012．
- [2] 西成活裕．渋滞学．新潮社，2006．
- [3] Wouter J. Schakel, Bart van Arem, and Bart D. Netten. Effects of cooperative adaptive cruise control on traffic flow stability. pp. 759-764, 2010.
- [4] 越正毅，桑原雅夫，赤羽弘和．高速道路のトンネル，サグにおける渋滞現象に関する研究．土木学会論文集，Vol. 1993，No. 458，pp. 65-71，1993．
- [5] 光安皓，大口敬，林誠司，金成修一．車両の運動状態に着目した電気自動車のエコドライブに関する検討．土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol. 70，No. 5，pp. L.621-L.628，2014．