

# ACC車両による高速道路サグ部における渋滞緩和効果

岩崎 健\* 鈴木一史\*\* 坂井康一\*\*\* 金澤文彦\*\*\*\*

## 1. はじめに

国内の都市間高速道路における渋滞の約6割はサグ・上り坂部で発生している。これらの渋滞要因として、追越車線への車線利用の偏り、個々のドライバーの運転特性のばらつきにより発生する密で構成台数の多い車群の形成、減速波の増幅・伝播、上り坂部での無意識な速度低下、および渋滞発生後の漫然運転などが指摘されている。これらの要因に対して、車線利用率適正化サービスや速度低下防止/回復サービスをはじめとした情報提供により渋滞緩和に繋がる行動を促すようドライバーに働きかける対策が立案され、一部は実現されている。

一方で、ドライバーの運転時の負担を軽減させるための車両制御技術として、速度に応じて車間距離を一定に維持できるACC (Adaptive Cruise Control)機能を搭載した車両(以下ACC車両)が市販化されている。

ITS研究室では、ITSスポットによる路車間連携サービスを活用した、インフラとACC車両の連携による新たな渋滞対策の確立に向けた研究を行っている。本研究ではサグ部(ここでは下りから上りへの縦断勾配変化区間を対象とする)における現象を対象とする。ACC機能を活用することで、勾配変化による速度低下や渋滞発生後の漫然運転などを抑制・防止することが可能となり、渋滞削減効果が見込まれる。しかし、ACC車両の混入による渋滞削減の効果は未だ明らかとなっていない。そこで本稿では、ACC車両の混入による渋滞緩和効果を把握するために実施した、マイクロ交通シミュレーションによる推計結果について報告する。なお、本研究では東名高速道路下り大和サグ(横浜町田ICの下流約2km)を対象とする。

## 2. ミクロ交通シミュレータの構築

### 2.1 サグ部における運転挙動の表現

既往の研究<sup>1)</sup>によるとサグ部における渋滞の発

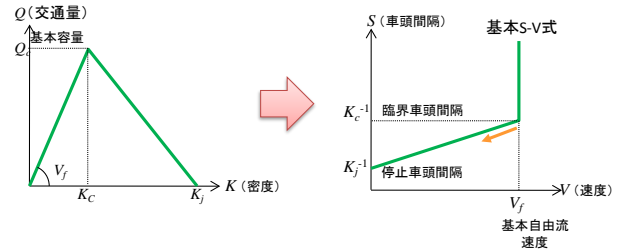


図-1 三角形近似のQ-K式(左)基本追従モデルによるS-V式(右)

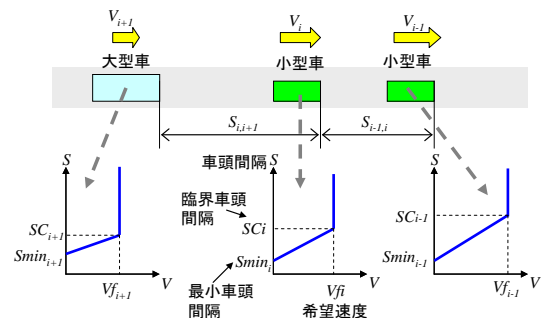


図-2 個別車両のS-V式

生要因として、(1)車間距離の比較的最長い車両を先頭として、密で構成台数の多い車群が形成される。(2)車群内の車両が何らかの理由で(サグ部の場合は勾配の変化)減速した場合、その車両より後続の車両の減速度は、反応の遅れが原因で後方ほど大きくなる(減速波の上流側への増幅伝播)。さらに、(3)サグ部の上り勾配区間において、ドライバーがその勾配変化に気づかないため、無意識に速度が低下し交通容量が低下することが報告されている<sup>2)</sup>。また、(4)渋滞に巻き込まれている時間が長くなるほど、追従挙動が緩慢となり発進流率が低下することが報告されている<sup>2)</sup>。

上記のようなサグ渋滞に特有の挙動も表現できるシミュレータとするために、実測交通量より得られたデータより決定される基本追従モデル(lower order model<sup>3)</sup>)に、サグ部における車両挙動の特徴が表現可能なよう、後述する様々なモデルを追加した。基本追従モデルの入力データは、大和サグ部に設置したトラフィックカウンター(以下サグ部トラカン)より取得した。図-1は実測交通量より算出されるQ-K式を三角形近似したもの(図-1左)と、Q-K式より算出される基本S-V式(図-2右)を示したものである。また車線変更モデルには花房ら<sup>4)</sup>の提案する意思決定プロセスによ

The Understanding of Congestion Mitigation Effectiveness According to ACC-equipped Vehicles at Sag Section on Expressways

るモデルを採用し、車線変更による影響も考慮したモデルとした。

(1) 構成台数の多い車群の形成

走行時において希望する速度や快適に走行できる先行車両との間隔はドライバーにより異なる。その挙動差異による車群の形成を表現するため、全ての車両が基本S-V式を用いるのではなく、図-2に示す様に、車両ごとに臨界車頭間隔と希望速度を付与し、車両ごとのS-V式に従って追従走行するモデルとした。なお、最小車頭間隔は停止時の密度3.3m(120pcu/km)とした。臨界車頭間隔は、臨界時にサグ部トラカンにより観測されたデータ、希望速度は閑散時に観測されたデータ、それぞれより算出される平均値と分散に合致するように、車両ごとにランダムに付与した。このモデルにより、速度の低い車両が先頭となって車群を形成するプロセスが表現可能となる。なお大型車と小型車の混入比率はサグ部トラカンの実測値を使用、車長は大型車9m、小型車5mとした。

(2) 追従車両の加減速挙動の反応遅れ

追従車両の挙動は先行車両の加減速を認知してから動作を開始するため、遅れが生じる。よって追従車両の加減速は、基本S-V式に従わず先行車両に比べ大きくなる。例えば上り勾配区間では、先行車が加速した場合、反応が遅れるために、一旦車頭時間が長くなって（交通流率（単位時間あたりに通過する交通量）が低下する）から基本S-V式に戻るような円弧軌跡を描く（図-3）。この挙動を表現するため前述のLower Order Modelに加えて、Intelligent Driver Model+(以下IDM+)<sup>5)</sup>（式(1)）を採用し、加減速度の最大値を規定している。IDM+とは自車速度、及び先行車両との相対速度に基づいて加減速度を求める、式(1)で示される非線形追従モデルである。IDM+における一般車両(以下非ACC車両)とACC車両の設定パラメータを表-1に示す。なお、本稿では大型車ACCの挙動については知見が少ないため車種による違いは考慮していない。

IDM+のモデル式

$$\frac{dv}{dt} = a \cdot \min \left[ 1 - \left( \frac{v}{v_0} \right)^4, 1 - \left( \frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \text{-----}[1]$$

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

a: 希望加速度 b: 希望減速度

v: 走行速度 v<sub>0</sub>: 希望速度 Δv: 先行車との相対速度

s: 車間距離 S<sub>0</sub>: 停止時車間距離

T: 安全ヘッドウェイ

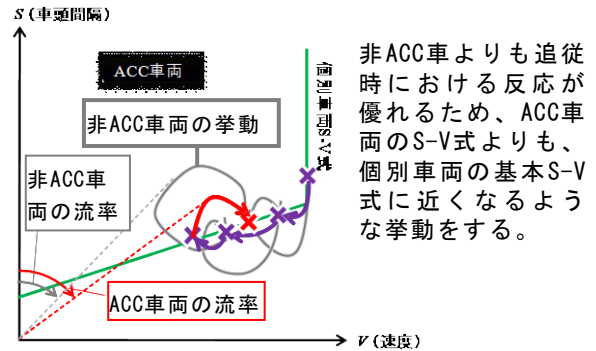


図-3 ACC車両の追従時のS-V（追従履歴）

表-1 IDM+の設定変数

変数	非ACC車両	ACC車両
a:希望加速度	0.73 m/s <sup>2</sup>	3 m/s <sup>2</sup>
	既往の研究 <sup>7)</sup>	S-V式に沿うよう試行
b:希望減速度	1.67 m/s <sup>2</sup>	6 m/s <sup>2</sup>
	既往の研究 <sup>7)</sup>	S-V式に沿うよう試行
v <sub>0</sub> : 自由流速度	120km/h	
	閑散時の観測値	
T:安全ヘッドウェイ	1.39sec	1.23sec
エイ	基本S-V式より算出	最小設定車間時間(1.35)より算出
S <sub>0</sub> :停止時車間距離	3.3m	
	停止時密度 120pcu/kmより算出	

上段：設定値  
下段：設定根拠

(3) サグ部上り勾配区間における速度低下

サグ部の上り勾配区間における、ドライバーの無意識な速度低下を表現するため、上り勾配開始点より徐々に（重力加速度の道路縦断勾配方向成分）速度が低下するモデルを追加した。走行速度の低下幅が一定以上になると、ドライバーが速度低下に気づいたとして、走行速度は希望速度に復帰する。速度低下は自由流時にサグ部トラカンより得られた実測値を用いて、勾配開始点より徐々に15km/h低下し、その後希望速度まで回復するという速度プロファイルを与えている。

(4) 渋滞巻き込まれ時間に伴う追従挙動の鈍化

渋滞に巻き込まれる時間が長くなると、運転に対する飽きや疲れ等が原因で追従挙動が鈍化（漫然運転による発進流率の低下）することが既往の研究により知られている<sup>2)</sup>。渋滞発生後における捌け交通量の観測データから、渋滞継続時間と交通流率の関係を算出し、渋滞時間に伴い徐々に交通流率が低下する(車頭間隔が増加する)モデルとした。

## 2.2 ACC車両挙動の表現

ACC車両の車両制御技術では、(1)自由走行時における速度一定制御、(2)追従走行時における車間時間一定制御(非ACC車両と比較し加減速反応遅れが改善される)、(3)勾配変化によらず速度一定、(4)渋滞巻き込まれ時間によらず車間時間一定、というACC車両に特有の挙動を再現するようにモデリングを行った。

### (1) 設定車間時間に応じたS-V式の設定

現在市販されているACC車両は、一般的に「短」「中」「長」の3段階の車間時間設定が可能であり、本稿ではそれぞれの車間時間を自動車メーカーの取扱説明書等を参考に、1.35秒(短:車速100km/hで車間距離約40m)、1.85秒(中:車速100km/hで同約50m)、2.5秒(長:車速100km/hで同約70m)と設定した。車間時間の設定が「中」以上の場合、渋滞発生前に観測される交通流率よりも低くなるのが明らかのため、本研究ではACC車両は全て車間時間「短」を選択することを前提とし、渋滞緩和効果を試算することとした。なお、ACC車両の希望速度は100km/hとした。

### (2) ACC車両の制御技術による反応遅れの改善

追従走行時におけるACC車両は、非ACC車両よりも先行車両への速度変化に俊敏な反応が可能であるため、非ACC車両に比べ、追従走行時の反応遅れは小さく、減速波の伝播が抑制されると考えられる。

IDM+で加減速度の大きさを決める最大加速度と最大減速度のパラメータを、非ACC車両より基本S-V式に近い小さな円弧を描くように試行を行い決定した(表-1中: $a=3m/s^2, b=6m/s^2$ )。これにより先行車両の速度変化に対して俊敏に反応するACC車両の挙動が表現される。図-3のようにACC車両は、非ACC車両に比べ車頭間隔の増減が小さくなるようにパラメータを設定した。

### (3) 縦断勾配変化による速度低下の解消

ACC車両は、上り勾配区間でもほとんど速度低下がないため、2.1(3)で示した勾配変化による無意識な速度低下は生じないものとした。

### (4) 渋滞巻き込まれ時間に寄らず車間時間一定

ACC車両では車間時間を一定に制御しているため、非ACC車両のように、渋滞に巻き込まれている時間が長くなることによる追従挙動の鈍化は生じないものとした。

表-2 渋滞緩和効果試算の検討ケース

ACC 車混入率	想定シナリオ	ACC 設定
3%	市販当初	車間時間設定： 短 (=1.35 秒)
5%	自然普及	
10%		
30%	普及促進策導入後	目標速度分布： 非 ACC 車の希望速度分布と同一
50%		
70%		
100%	参考ケース	

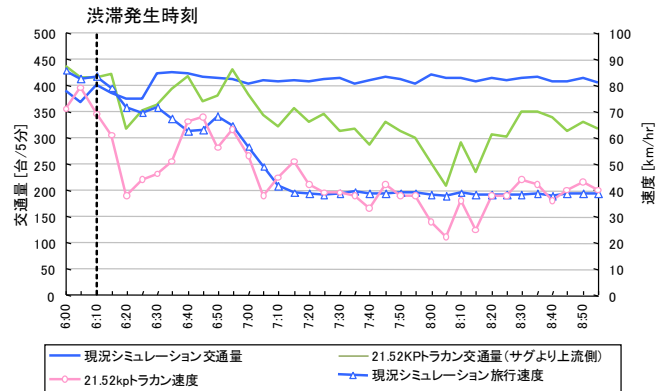


図-4 交通量と速度による現況再現性の確認

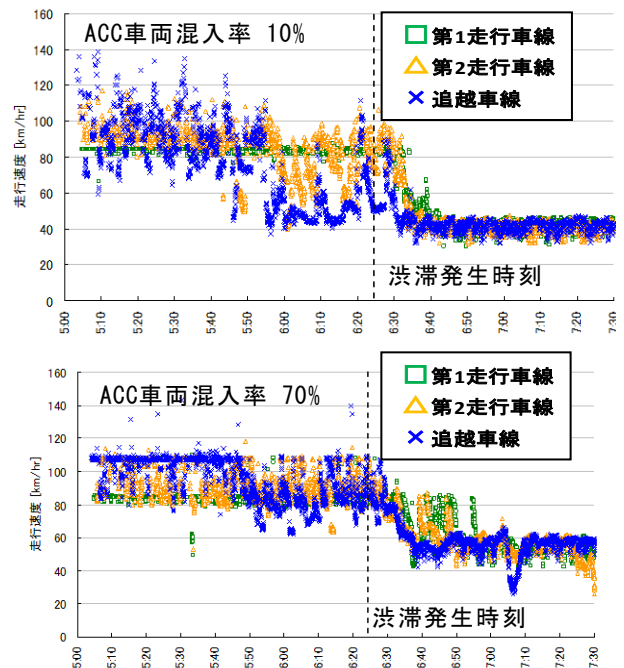


図-5 渋滞発生前後における車線別走行速度 (上:混入率10%、下:混入率70%)

## 3. 渋滞削減効果の試算

### 3.1 検討ケースの設定

以上述べてきたようにサグ部に特有の挙動とACC車両の挙動を再現できるようにマイクロ交通シミュレータを構築した。普及シナリオとして、表-2に示す市販当初、自然普及、普及促進策導入後の7パターンを設定した。各シナリオに応じたACC車両の混入率が達成されるようにACC車両をランダムに発生させ、シミュレーションによる推計を行った。



### 3.2 シミュレーションによる現況再現性の確認

現況再現の対象区間は、東名高速道路の横浜青葉ICの下流15.0kpからサグ部の上り勾配区間の終点である23.0kpとした。現況再現性は渋滞発生前後における速度、交通量、および渋滞中の累積交通量をトラカンデータと比較し、特に渋滞発生後から速度が安定するまでのプロセスにより確認している(図-4)。

### 3.3 試算結果

#### (1) 渋滞発生前車線別速度の比較

図-5は渋滞発生前後における車線別の走行速度を示したものである。ACC車両の混入率が10%(図-5 上図)と比較して、70%(図-5 下図)の場合では渋滞発生直前まで流率の高い状態が維持されており、渋滞発生をACC車両混入により遅らせる効果が確認されたといえる。

#### (2) 渋滞損失時間の短縮効果

図-6はACC車両の混入率別の渋滞損失時間と現況(ACC混入率0%)に対する削減率の試算結果を示したものである。渋滞損失時間とはある設定区間における基準となる旅行時間と実際にかかった旅行時間の差(遅れ時間)の総和のことであり、基準旅行時間よりも速く走行した場合、渋滞損失時間はゼロとなる。ここでは渋滞損失時間の算出に用いる基準旅行速度として、当該区間における渋滞発生直前での速度70km/hを用いた。

マイクロ交通シミュレーションによる試算では、例えばACC車両の混入率30%で渋滞損失時間の削減率が約50%となることが示された。ACC車両の普及率増加に伴い、渋滞損失時間削減率も増加することが示された。

## 4. まとめ

本稿では、ACC車両の混入率に応じたサグ部

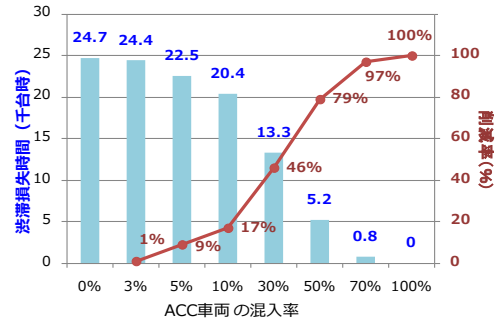


図-6 ACC車両混入率別渋滞損失時間

における渋滞緩和効果について、マイクロ交通シミュレーションによる試算結果を示した。設定車間時間が全て「短」であり、常にACC機能を作動させて走行しているという限定的な条件下ではあるが、ACC車両の混入による渋滞削減効果が確認された。マイクロ交通シミュレーションによりACC車両の混入率が増加するに従い、渋滞長、および渋滞損失時間が短くなることが示された。

### 参考文献

- 1) 邢健、越正毅：高速道路のサグにおける渋滞現象と車両追従挙動の研究、土木学会論文集、No.506、IV-26、pp.44~55、1995.
- 2) 越正毅、桑原雅夫ほか：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、No.458、IV-18、pp.65~71、1993.
- 3) G.F.Newell: A simplified car-following theory; a lower order model, Transportation Research Part B, 36, pp.195-205,2002.
- 4) 花房比佐友、堀口良太ほか：高速道路サグ部におけるAHS円滑化サービス評価用交通シミュレータの開発、第4回ITSシンポジウム、2005.
- 5) Wouter J.Schakel, Bart van Arem et al : Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability, Proceedings of 13<sup>th</sup> International IEEE Annual Conference on Intelligent Transport Systems, 2010

岩崎 健\*



国土交通省国土総合政策  
総合研究所高度道路交通  
システム研究室 交流研  
究員  
Ken IWASAKI

鈴木一史\*\*



国土交通省国土総合政策  
総合研究所高度道路交通  
システム研究室 研究  
官、博士(工学)  
Dr.Kazufumi SUZUKI

坂井康一\*\*\*



国土交通省国土総合政策  
総合研究所高度道路交通  
システム研究室 主任研  
究官  
Koichi SAKAI

金澤文彦\*\*\*\*



国土交通省国土総合政策  
総合研究所高度道路交通  
システム研究室長  
Fumihiko KANAZAWA