

# アダプティブ・クルーズ・コントロールによる高速道路のサグ渋滞の軽減効果\*

Effectiveness of Adaptive Cruise Control for Increasing Sag Capacities\*

吉田 行範\*\* 越 正毅\*\*\* 安井 一彦\*\*\*\*

By Yukinori YOSHIDA\*\*, Masaki KOSHI\*\*\* and Kazuhiko YASUI\*\*\*\*

## 1. はじめに

高速道路単路部における自然渋滞のほとんどがサグ部(縦断曲線凹部の底部)で発生していることが知られている。その原因として、サグによってドライバーの意図しない速度低下が生じ、ドライバーがそれに応じた車間の短縮を行わないためであろうということがこれまでの研究<sup>1)</sup>から推定されている。もしその通りだとすれば、サグ渋滞を抑制するためにITS技術の中で現在実用化されている車間距離制御技術であるアダプティブ・クルーズ・コントロール(以下ACC)が有効であろうと考えられる。また必ずしも全ての車両にACCが装着されなくても相応の効果もたらされるかもしれない。本研究は、自由流(渋滞発生前から渋滞発生まで)と渋滞流(渋滞発生後)の2ケースについて、ACC車の混入率と効果との関係についてシミュレーションによって検討することを目的としている。

## 2. サグ渋滞の特徴と解決策の提案

サグにおける隘路現象の説明仮説は以下のようである。

### ① 渋滞前から渋滞発生時まで

サグを通過する際に勾配の変化とアクセル踏み込み量の不足により、速度低下が起こる。一般にドライバーは速度変化に対してあまり敏感でなく、速度が低下してもそれに伴って車間距離を詰めようとせず、その結果フローレートを下げってしまう。図-1におい

て、Aの状態を追従していた1対の車両がサグに差し加かって $\Delta V$ だけ速度低下が生じ、定常状態での関係に沿ってC点に移るのではなく過渡的に(おそらく数分間にわたって)B点に移る。B点はA点との等フローレート線より上(フローレートが低い)にあるので車群が大きい(多数の車両の車群)場合には速度低下が増幅されて車群後方へ伝搬し、車群後尾の車両はついに停止に至る。この停止車が再び動き出して速度を回復する前に次の車群が到着すると渋滞の発生となる。このような現象は交通量が2車線合計で3,000台/時程度になると発生する。

### ② 渋滞発生後

一旦渋滞してしまうと渋滞の先頭からの加速度が極めて小さく、発進フローレート(渋滞後の交通容量)が極めて小さく、2車線合計で約2,600台/時である。30km/h程度の低速から高速道路で期待されるような速度まで到達し、ドライバーが渋滞から開放されたと認識するまで1~3km程度要する。

これらの解決策として、

①に対しては、前車の速度が低下してもその速度に合った車頭距離で走行できれば(図-1のC)、フローレートの低下は防ぐことができるはずである。

②に対しても、速度と車間との関係を適切に保つことによって発進フローレートを増すことができよう。

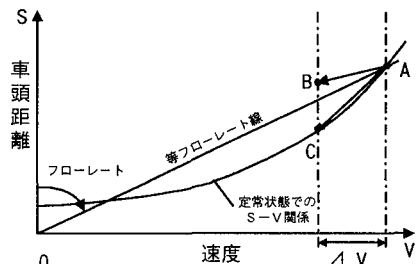


図-1 車頭距離・速度・フローレートの関係

\* キーワーズ: ITS、交通流、交通容量  
\*\* 正会員、工修、藤沢市都市整備部北部区画整理事務所 (〒252 藤沢市円行2-3-17 TEL0466-44-3411 FAX 0466-45-9892)  
\*\*\* 正会員、工博、日本大学教授、理工学部交通土木工学科 (〒274 船橋市習志野台7-24-1 TEL&FAX 0474-69-5504)  
\*\*\*\* 正会員、工博、日本大学助手、理工学部交通土木工学科 (〒274 船橋市習志野台7-24-1 TEL&FAX 0474-69-5504)

## 3. ACCの概要

ACCは、レーザーレーダー、ビデオカメラおよびコントロールユニットとから成り、ビデオカメラの画

像処理によって車線を認識し、レーザーレーダーによって同一車線上の前車との車間距離を測定するものである。

自車速度から決まる目標車間と現在の車間距離との偏差 ( $\Delta L$ )、前車との相対速度 ( $V_r$ ) および自車加速度からスロットル調整量を求め、現在のスロットル開度を増減する。この制御を 0.25 秒毎に行う。

動作手順を制御ブロック毎に以下に示す。ここではラプラス演算子  $S$  が用いられている。 $1/(1+ST)$  は過渡応答の伝達関数であり、 $e^{-ST}$  は  $T$  の時間遅れを表す。 $S$  は微分を表す。

ここで過渡応答は図-2 によって説明される。時定数  $T$  は時刻 0 における単位入力値に対し、出力値が 67% になるまでの一次遅れを示す。

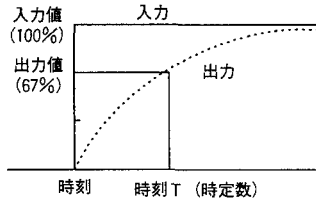


図-2 過渡応答概念図

### (1) 補正車速算出ブロック

自車速から設定車間距離 (目標車間距離) を求め、実測車間距離との偏差  $\Delta L$  (m) を導き、相対速度  $V_r$  (m/s) より補正車速  $\Delta V$  (km/h) を求める (図-3)。補正車速は、マトリクスとなっている。

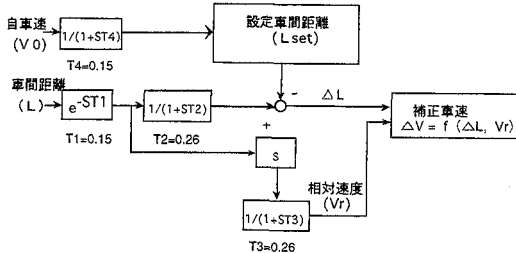


図-3 補正車速算出ブロック

### (2) 調整スロットル量計算ブロック

補正車速  $\Delta V$  と自車加速度  $a$  (m/s) より調整スロットル量  $\Delta \theta$  (deg) を求める。

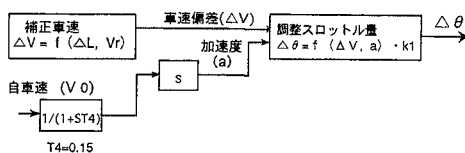


図-4 調整スロットル量計算ブロック

### (3) エンジントルク算出ブロック

現在のギヤポジションと速度から、エンジン回転数を求める。前回のスロットル開度に調整スロットル量を増減させて現在のスロットル開度を求める。エンジン回転数とスロットル開度とからエンジントルク (kgm) を求める。

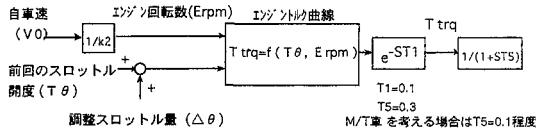


図-5 エンジントルク算出ブロック

### (4) 加速度計算ブロック

上で求められたエンジントルクにある係数  $K_3$  (減速比、タイヤ半径、伝達効率が決まる値) を乗じて駆動輪の推進力を求める。これから、走行抵抗を減じ、車両総重量で除して車両加速度を得る。

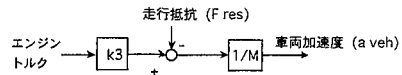


図-6 加速度計算ブロック

## 4. 制動機能の付加

現在市販されている ACC はエンジンブレーキのみを用いている。しかし、渋滞域にも ACC を適用すれば通常の油圧ブレーキも用いなければならない。そこで本研究のシミュレーションでは、仮想的に負のスロットル開度も可能とし、必要に応じてフットブレーキと同程度の減速度も発生できるようにした。

さらに、 $S-V$  についても新たに設定した。

## 5. シミュレーション

### (1) シミュレーションモデル

このシミュレーションは  $\Delta t$  ( $=0.05$  秒) 毎に交通状態を更新するピリオディックスキューニング方式を採用し、車両 1 台 1 台を個別に扱うマイクロシミュレーションである。シミュレーションで想定するサグは、縦断曲線長は 500m、勾配差は 2.3% である。

車両はすべて乗用車とし、一般車 (非 ACC 車) の車両挙動は、自由流が渋滞流かによって使用する追従モデルを使い分けている。Xing<sup>2)</sup> のモデルを自由流から渋滞発生までに、尾崎<sup>3)</sup> のモデルを渋滞発生後

に適用している。両モデルとも追従車の加速度が相対速度に反応する項、目標車間距離との偏差に反応する項、勾配による影響に関する項に依存するとしている。

(2) 速度-車頭距離曲線

速度-車頭距離曲線はフローレートを規定する基本的な要素である。非ACC車については、渋滞前の場合に対して、高密度車群を再現できるようにするためにXingが用いた曲線より車頭距離の短いものを用いている。0 km/hにおける車頭距離をそのまま用いて、その他の速度域では3.7割車頭距離を減じている。また、渋滞後の場合に対しては、尾崎が用いた曲線をそのまま本研究においても用いた。ACC車については現在市販されている装置にはかなり余裕のある車間値が設定されており、したがって交通容量としては小さいので、将来のACCの改良された性能を想定して、テストコースでの追従実験で得られる車間値よりもかなり小さな車間となるように速度の2次式として設定した。これらの速度-車頭距離曲線を図-7に示す。

図-7から知られるように、ACC車の追従フローレートは自由流域では実際の交通流(Xing)のモデルの曲線)より依然としてかなり小さい。したがって、本シミュレーションにおいてもACC車の混入率が高くなるほど全体の交通流率が低くなっている。

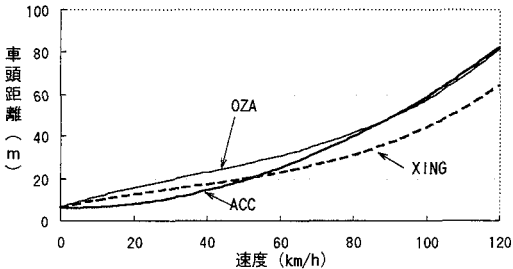


図-7 速度-車頭距離曲線

(3) シミュレーションのケース設定

実際の交通現象においては渋滞は追い越し車線が発生するし、渋滞発生後には車線による現象の違いはほとんどないので、シミュレーションは追い越し車線を想定して行った。

(a) 自由流時

前述のように自由流から渋滞が発生するきっかけは、大きな車群の直後にまた次の車群が到着してショックウェーブが発生、増幅伝搬することにあるので、先行車群と10秒離れて後続車群が到着する場合についてシミュレーションを実施した。先頭車の速度

は80km/hで一定、先行車群のサイズは3通り、後続車群のサイズは、常に100台で一定、ACC車混入率としては、0%から100%まで6段階を設定した。設定ケースおよびそれぞれのケースの流入交通流率(先行車群先頭車から後続車群後尾車まで)を表-1に示す。

表-1 設定ケース表(自由流時)

ACC混入率	0%	10%	20%	30%	60%	100%
車群条件						
先行車群サイズ41台						
流入時交通流率(台/時)	2449	2368	2307	2250	2093	1925
先行車群サイズ81台						
流入時交通流率(台/時)	2473	2400	2323	2278	2105	1946
先行車群サイズ121台						
流入時交通流率(台/時)	2483	2412	2352	2292	2130	1946

(b) 渋滞発生後

30km/hで全車定常追従走行する流入交通を与え、先頭車のみを縦断曲線始点から0.5m/sec<sup>2</sup>で90km/hまで加速させた。この先頭車の加速度は実現象での渋滞からの発進流の加速度よりも十分に大きい。

ACC車混入率としては、0%、30%、60%および100%の4段階を設定した。

6. シミュレーション結果

(1) 自由流から渋滞発生まで

ACC車混入率が0%および10%のケースでは、いずれの先行車群サイズの場合にも渋滞が発生した。ACC車混入率20%および30%のケースでは停止波は発生しなかったが減速波が発生した。ACC車混入率60%および100%では減速波も発生しなかった。図-8に0%、30%、60%の3ケースの結果を示す。図の時間距離曲線はz10台目毎の軌跡を示している。

このことからACC車混入率が60%であれば渋滞前容量としては、2,100台/時程度は確実であり、現状の1,800台/時前後(2車線合計で約3,000台のうちの追い越し車線)と比べれば約17%の容量増となる。

混入率30%ではわずかながら減速波が発生するのでこの流入交通流を直ちに反覆処理することはできないが、車群間の間隔がこれより少し大きければ(流入交通流率が2,292台/時より少し小さければ)渋滞なしで処理できよう。

(2) 渋滞発生後

図-9はACC混入率0%と60%における時間距離線図を表している。ACC車混入率60%では0%の場合より、前車との車頭距離が短いことが分かる。

図-10は図-9において4,000mの断面における平均フローレートを表している。この図から、ACC

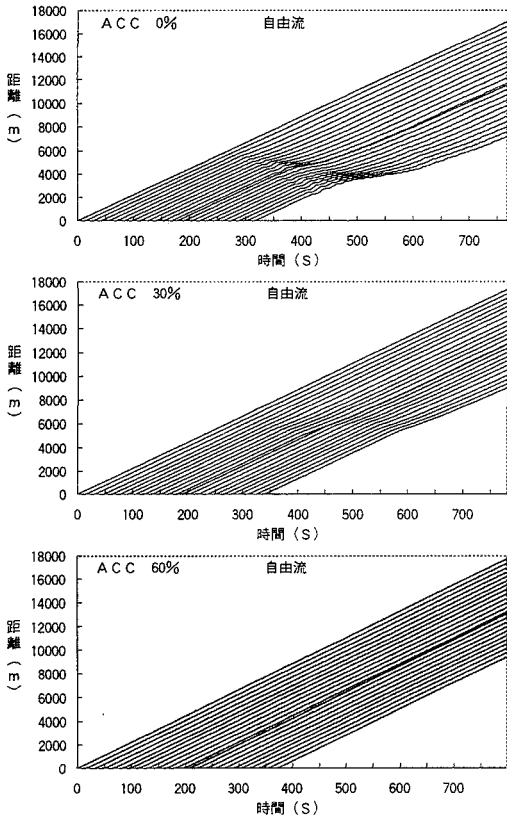


図-8 時間距離線図  
(6,000m から 6,500m の間に縦断曲線)

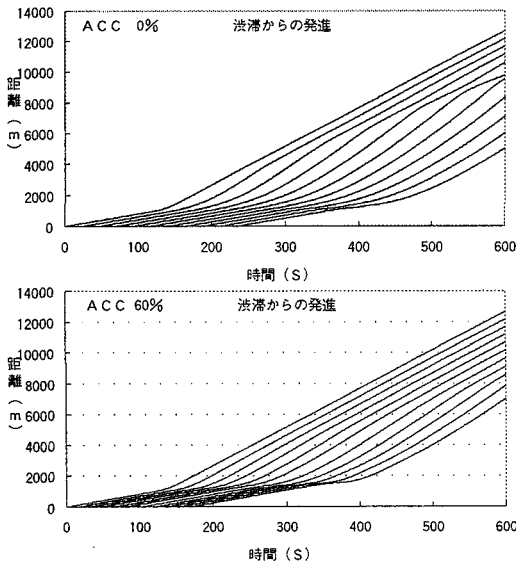


図-9 時間距離線図  
(1,000m から 1,500m の間に縦断曲線)

車混入率が高くなるほど交通流率は上昇する傾向が見られる。

ACC車混入率0%における流率1,186台/時(実測から得られる値は1,300台/時前後)に対し、混入率100%では1,607台/時となって約35%増しとなる。混入率60%でも100%とほとんど変わらない流率に収束するようである。

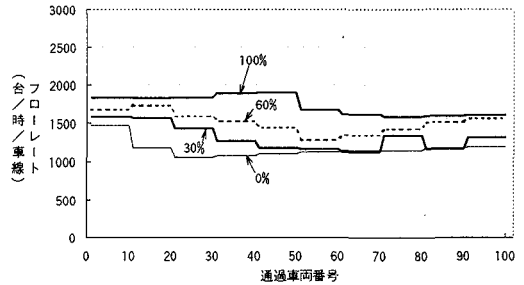


図-10 渋滞からの発進フローレートの比較  
(4,000m断面)

## 7. 結論と考察

本研究で想定したACC車に関する限り、サグ渋滞の軽減に大きく寄与することが知られた。ACC車混入率は、60%あれば100%と同程度の効果がありそうである。渋滞前容量に関する限り混入率は30%でもかなりの効果は期待できそうである。混入率60%の場合に、渋滞前容量については2,100台/時・追い越し車線で、現状に比べて17%の増へ、渋滞後容量については、約1,600台/時・車線で現状に比べて約23%の増加がもたらされる。しかしながら、いずれも単路部基本容量(約4,000台/時・2車線)より小さいのでサグ渋滞を解消することはできない。

ACCの改良が進んで、必要車間が現状の手動による追従の車間距離に近い値まで低下すればサグ渋滞を完全に解消することもできよう。

### 【参考文献】

- 1) 越 正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集招待論文，No.371/IV-5，1986.7
- 2) Xing. J：A Study on the Bottleneck Phenomenon and Car-following behavior on Motorways，東京大学学位論文，1992.9
- 3) 尾崎晴夫：車両の追従挙動とサグの隘路現象，東京大学学位論文，1994.4