

◆特集：ITS セカンドステージへ◆

車線利用率適正化によるサグ部交通渋滞の削減

牧野浩志* 大内浩之** 平沢隆之*** 山田康右****

1. はじめに

我が国における高速道路の渋滞のうち、サグ・トンネル部に起因する渋滞は全体の35%を占めている。その発生原因の一つとして、渋滞直前に追越車線へ交通量が過度に集中する一方で、走行車線には比較的余裕があるという不均衡な車線利用状況があるといわれている。その対策として、国総研ITS研究室では、渋滞発生前にドライバーに対して交通状況に応じた適切な情報提供等を行うことにより車線利用率を適正化し、断面容量を効率的に利用することで渋滞削減を図る円滑化サービスを、AHS（走行支援道路システム）研究の一環として検討してきた。

本報文では、AHS円滑化サービスの開発に向け、高速道路の代表的なサグ部渋滞箇所である東名高速大和地区を対象に交通実態および渋滞状況の観測・分析を行い、サービス提供の可能性等について検討した結果を報告する。

2. サグ・トンネル部渋滞対策の必要性

我が国の高速道路における渋滞の損失額は年間約9400億円に上る。渋滞発生箇所は図-1に示すように料金所部が最も多く、次いでサグ・トンネ

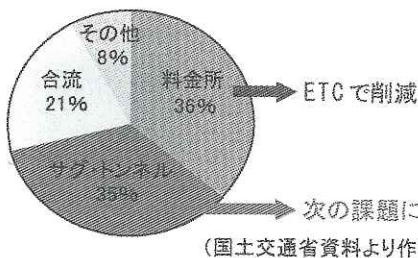


図-1 高速道路の道路構造別渋滞発生回数内訳 (2002年)

【首都高速】ETC利用率と本線料金所渋滞量の関係
【全18本線料金所合計】

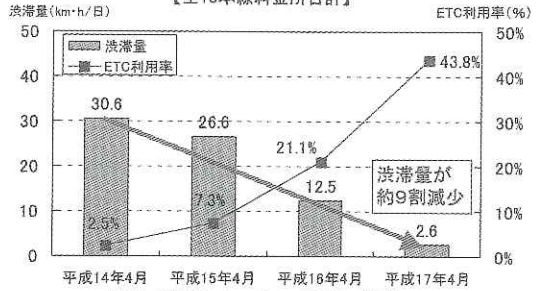


図-2 ETC普及にともなう渋滞削減効果 (首都高18本線料金所)

ル部となっている。

現在、料金所での渋滞解消を目的に実施してきたETCによる対策が、車載器の普及にともない年々効果を発揮してきており(図-2)、サグ・トンネル部の渋滞対策が次の最重要課題となっている。

3. サグ部での渋滞発生メカニズム

高速道路サグ部は、容量ボトルネックとして知られているが、著者らは、そこでの渋滞発生原因がドライバー心理や挙動と密接な関係があると考え、i) 進行方向の車両挙動に関連する要因、ii) 車線利用に関連する要因、iii) 特定の車両の挙

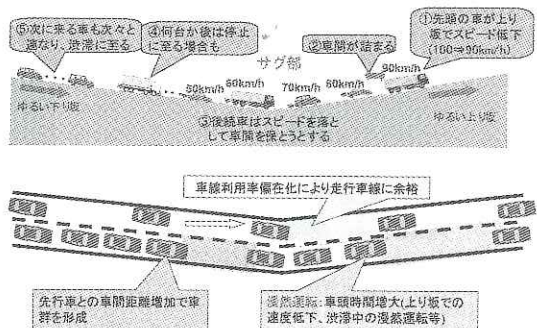


図-3 サグ部における渋滞発生の基本メカニズム

Research on AHS Services to Reduce Traffic Congestion in Sag Sections by Adjusting Lane Utilization Rate

表-1 渋滞発生要因の整理

渋滞発生要因	概要
i) 進行方向の車両挙動に関連する要因 (漫然運転等による容量低下)	<ul style="list-style-type: none"> ・漫然運転によるサグ部での無意識な速度低下のため前方車両との車間を過度に空けてしまうため、車線容量の効率的利用を妨げる。
ii) 車線利用に関連する要因 (車線利用の偏り)	<ul style="list-style-type: none"> ・渋滞直前には、早く行きたい車両が追越車線に過度に集中するため、追越車線から渋滞が始まる。 ・渋滞開始後は、追越車線上の車両が速度低下を嫌って一斉に余裕のある走行車線へ復帰するため、走行車線もまた一挙に渋滞状態になり、断面全体での容量が効率的に使われない。
iii) 特定の車両の挙動に関連する要因 (車群の形成)	<ul style="list-style-type: none"> ・上流で形成された車群がサグ部へ到着すると、先頭車の速度低下が引き起こす減速ショックウェーブが増幅されながら車群中を上流へ伝播する。 ・このとき、密度の高い大きな車群が到着すると、さらに上流側に伝播し、渋滞となる。 ・車群形成およびその規模には、「希望速度が遅い」「加速性能が悪い」といった「原因車両」が含まれるかどうかが大きく寄与していると考えられる¹⁾。

動に関連する要因の3つに分けて整理している(図-3、表-1)。

4. 渋滞対策の着眼点と実施方針

従来、サグ部においては、道路拡幅等のハードウェア対策が実施されてきた。しかし、今後の対策においては、道路構造を改変することなく低コストで実現可能な効果的手法として、道路交通運用面での対策が重要と考えられる。その中でも代表的な手法といえるのが情報提供による方法である。

前述i)～iii)に対応したサグ部渋滞対策の着眼点を整理すると、i) ボトルネック部で速度低下を起こさせない(あるいは速度低下しても早期に回復させる)、ii) 車線利用率を予め均等化しておく、iii) 車群を形成させない、の3つにまとめられる(表-2)。

2003年からJHが東名下り大和のサグ部で供用したサービス(表-2:①②)は、サグ部下流に設置した情報板を用いて速度低下に対する警告や、サグ部で低下した速度の回復を促す情報提供を行うものである。その効果として、渋滞時の捌け交通量が7%向上したことが報告されている²⁾。

これらの既往の情報提供による対策は、主として渋滞発生後を対象としたものである。これに対し、研究開発中のAHS円滑化サービス(表-2:③車線利用率適正化サービス、⑤車群対策サービス)は、渋滞発生前を対象とし、交通状況に応じた適切なタイミング・内容の情報提供をコンセプトとした新しい対策といえる。この対策は、道路側のシステムが全体の交通流を俯瞰して正しい情報を把握し、適切な注意喚起方法によりドライバーに伝え、その結果として全体が調和した交通流を

表-2 渋滞の発生原因とその対策

	サグ部における問題点	改善の着眼点	対策案(提供サービス)
従来からの問題点	i) 漫然運転等による渋滞発生後の容量低下(サグ下流部)	漫然運転車両に加速を促す	①速度低下防止サービス
		車頭時間を短縮させる	②速度回復サービス
今後対策が必要な問題点	ii) 車線利用率の偏り(サグ部上流)	車線利用率を均等化し、走行車線の未利用の交通容量を活用する	③車線利用率適正化サービス
			④路肩等活用による車線利用率適正化サービス
	iii) 車群形成	車群の形成防止および解消	⑤車群対策サービス

■: JH実験済み ■: 短期的な開発の対象 ■: 中長期的な開発の対象

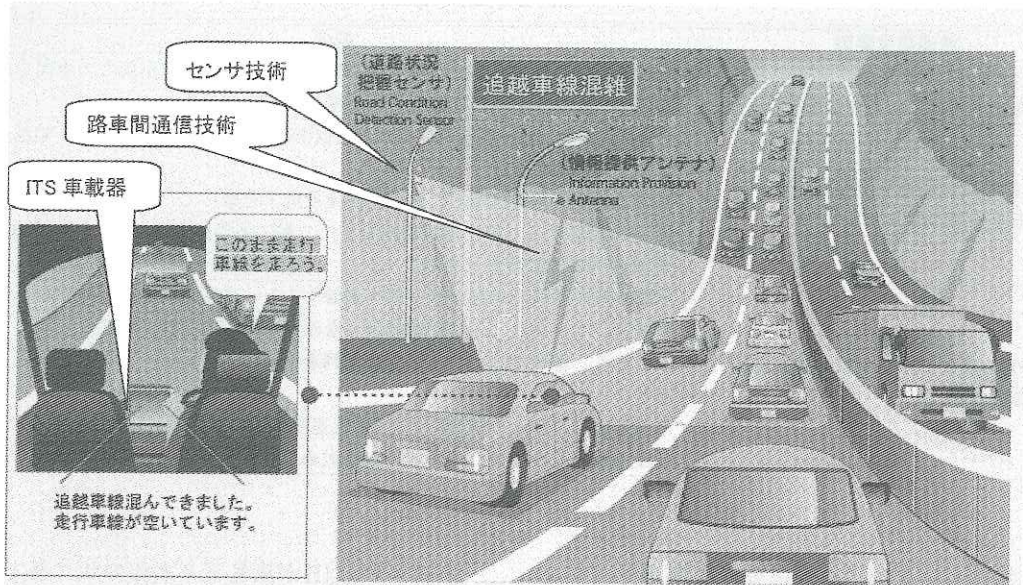


図-4 車線利用率適正化によるサグ渋滞対策のイメージ

実現して渋滞の削減を期待するものである³⁾。サービスの概要はそれぞれ次に示すとおりである。

○車線利用率適正化サービス

- 容量の効率的な利用の観点から渋滞直前の車線利用率を適正な比率にすることを目標として情報提供を行うサービス (図-4)

○車群対策サービス

- 渋滞を引き起こすおそれの大きい車群形成の原因となる挙動を示す車両に対し、適切な注意喚起を行い、車群形成の防止あるいは車群解消を目標とするサービス

ITSの要素技術であるセンサー、路車間通信、ITS車載器等は、上記のサービス実現に必要な交通流の適切な把握、余裕のある車線への車両の誘導、車群先頭車両の判別・注意喚起などに有効な手段になり得ると考えられる。これらを用いた情報提供によるAHS円滑化サービスの実現に向けて研究開発を進めているところである。

5. サグ部での交通状況の分析

5.1 サグ部での車線利用状況

車線利用率適正化サービスの実現可能性を検討するために、既存の車両感知器データや、路側に設

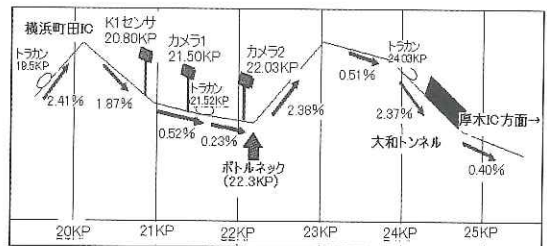


図-5 東名下り大和地区における計測ポイント

置したビデオカメラ、AHS可視画像処理センサー(K1センサー)等で得られる区間走行軌跡データを利用し、車線利用状況の分析を行った。以下では、その結果について述べる。

東名高速下り大和地区(片側3車線)を対象とし、図-5に示すように設置したセンサーでサグ部の交通状況および渋滞発生状況を観測した。

サグ部上流約500mにある21.52KPトラカでの車線別交通量と速度の推移を図-6に示す。渋滞直前の6:30頃には、追越車線や第2走行車線(走行2)に比べ、第1走行車線(走行1)は75~100pcu/5分交通量が少なく、余裕があることが分かる。その後、追越車線や走行2の渋滞発生に伴い一挙に渋滞状態に遷移している。渋滞直前での走行1と走行2の交通量の差は、断面交通量の約10%に相

東名高速道路下り線 21.520キロポスト

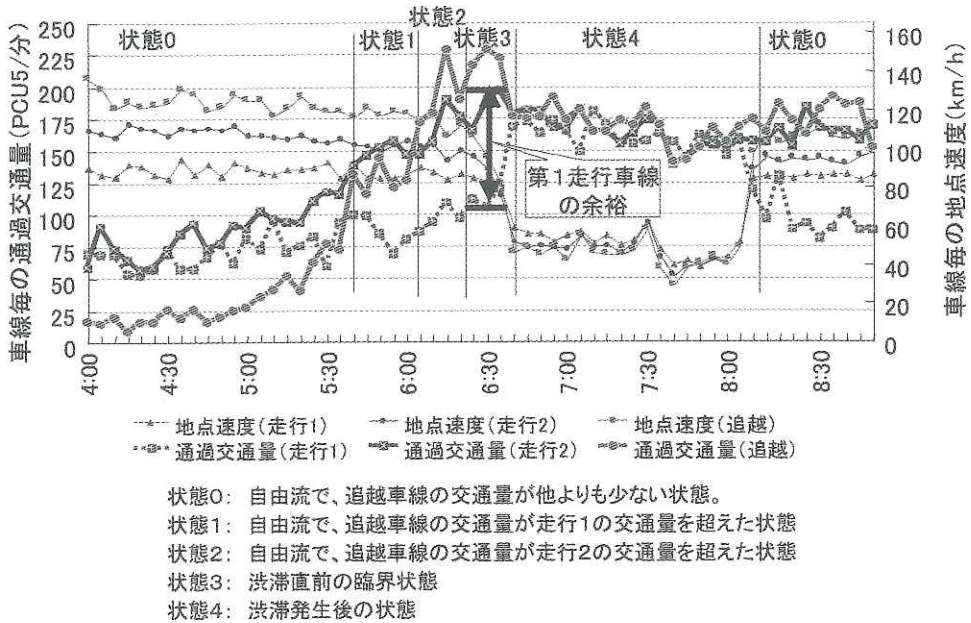


図-6 典型的な渋滞発生時における東名下り大和地区の交通量と速度の関係

当する。このことは、走行1の可能交通容量が走行2と同水準であると考えれば、少なくとも断面容量の10%が使われないまま渋滞に至っていることを示す。したがって、渋滞発生前の時点で、前述のような「早く行きたい」ドライバー心理に働きかける有効な情報内容を提供できれば、車線利用の偏りをなくすことで車線の空きを有効活用し、ボトルネック部の捌け交通量を増加できる可能性がある。

5.2 車線変更の可能性について

ここでは、図-6の各交通状態においてドライバーに対して走行車線への復帰を促す情報提供を行った場合に、実際に車線変更が可能かどうかをより微視的に評価するために、「車線変更可能割合」という新たな指標を導入した。車線変更可能割合とは、単位距離を走行する間に車線変更可能な一定値以上のヘッドウェイ（車間時間）が隣接車線に見つかる割合の期待値であり、個別車両の区間走行軌跡データに基づき、車線毎に次式で算出される。

$$Pg_{i+Lj} = \sum_j \frac{Lg_{i+Lij}}{L}$$

ここで、
 Pg_{i+Lj} : 車線 $i+1$ から j への車線変更可能割合
 Lg_{i+Lij} : 車両 j の車線変更可能なヘッドウェイとの併走距離
 L : 区間長

図-7にこの指標の概念図を示す。例えば、ある車両が走行2を1km走行する場合を考えてみる。車両が①の地点に差し掛かった時点で、車線変更可能なヘッドウェイを、隣接する走行1に見出し、その後②に至るまでその状態が700m継続したとすると、当該車両の走行2から走行1への車線変更可能な度合い（車線変更のしやすさ）を示す値は、

$$= \frac{[\text{車線変更可能なヘッドウェイとの併走距離}]}{[\text{区間長}]} = \frac{700}{1000} = 0.7$$

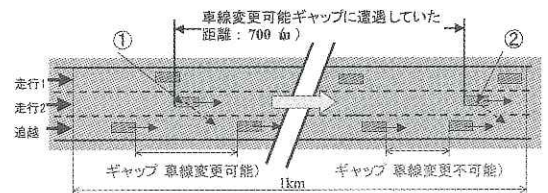


図-7 車線変更可能割合の概念説明図

と求められる。同様に、単位時間に当該区間を通過した全車両についてこの値を求め、それらの平均値を走行2から走行1への「車線変更可能割合」とした。

また、この車線変更可能割合は、ボトルネック部からどのくらい手前でサービスを提供すれば、ドライバーが車線変更できるかを評価する指標としても利用できる。例えば、車線変更に最低限必要な距離を350mと仮定した場合、ボトルネック部手前区間の車線変更可能割合が70%の状況では、 $350 \div 0.7 = 500\text{m}$ 手前でサービスを提供すれば、ドライバーにとって車線変更可能な余裕を確保できると考えられる。

車線変更可能割合を算出する際の前提条件となる「車線変更可能なヘッドウェイ」を把握するために、ビデオ解析データから計測した当該区間における車線変更時の前後車両のヘッドウェイ分布を参考とした(図-8)。

図-8によると、ヘッドウェイ3秒以上の車線変更が約50%を占めている(全体の平均値3.18秒)。一方、ヘッドウェイ3秒未満が全体の約半数に当たるが、これらは、渋滞発生直後に走行2の速度が低下している時に、走行2から余裕のある

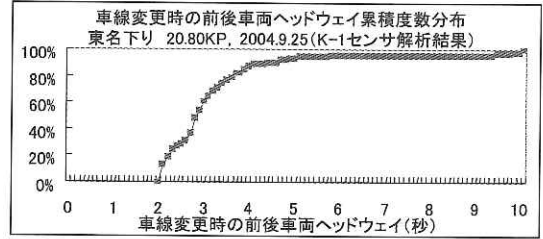


図-8 車線変更時の前後車両ヘッドウェイの累積度数分布

走行1に車線変更したものが大多数であった。したがって、渋滞発生前の車線変更の大半は、ヘッドウェイ3秒以上で行われたものと判断される。この結果から、渋滞直前において、車線変更が可能であるために最低限必要なヘッドウェイは3秒と仮定した。この基準に基づき、車両毎に区間走行軌跡図(タイムスペース図)上で3秒以上のヘッドウェイと併走した距離を見出し、前掲の式により車線変更可能割合を算出した。

2004年9月18日におけるサグ部上流21.52KPの車線別交通量、速度、および上記方法で算出した車線変更可能割合を図-9に示す。渋滞発生時(6時35分)、走行2から走行1への車線変更可能割合は0.6から0.1へと急激に低下し、渋滞中は車線変

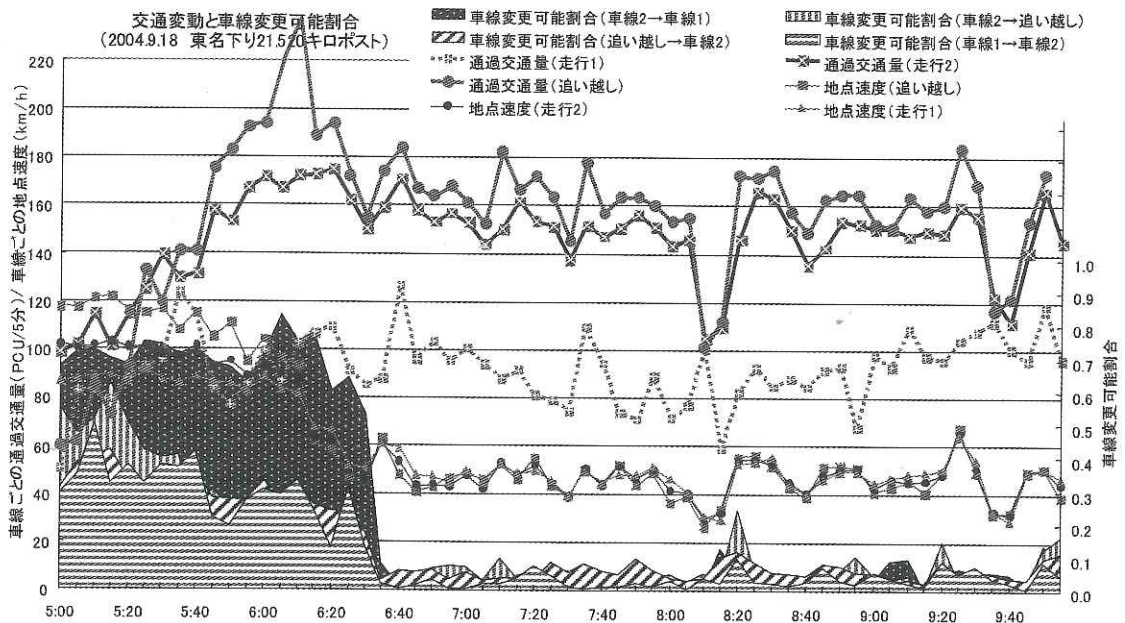


図-9 車線変更可能割合と交通量・速度の関係

更可能なギャップが殆どなくなっていることが分かる。これを図-6の交通状態区分(状態0~状態4)に当てはめてみれば、状態0~状態2では、走行2から走行1については十分高い車線変更可能割合が期待でき、追越車線から走行2についても比較的高い値を示している。また、状態3(臨界状態)であっても、走行2から走行1への車線変更可能割合は、渋滞が発生するまでは比較的高い値が維持されていることが読みとれる。

以上より、渋滞直前の段階まで車線変更可能なヘッドウェイが保たれており、車線変更の可否の観点から車線利用率適正化サービスを実現できる可能性があることが確認された。

6. 結語

サグ部における渋滞対策として、渋滞直前には車線利用率が追越車線に偏り、交通密度が高い追越車線から渋滞が発生するが、その時点でも第1走行車線の交通容量に余裕があることに着目し、東名高速道路大和サグ部における実測データの分析に基づき車線利用率適正化サービスの可能性について検討した結果、以下の結論を得た。

- ・サグ部渋滞現象の実測の結果、渋滞直前においては、第1走行車線には余裕があり、車線利用率適正化サービスによってこの空きを有効活用し、ボトルネック部の捌け交通量を増加できる可能性があることを確認した。
- ・サグ部手前での車線変更の可否について、「車線変更可能割合」を指標とした微視的な分析を行い、渋滞直前までの情報提供により車線

利用率適正化サービスを実現できる可能性があることを検証した。

今後は、効果的なサービス検討に資するため、ショックウェーブ発生の先頭からより上流側の速度低下や車線変更、車群形成等に係わる交通挙動の連続的な計測ならびに分析等を行う。さらに、交通流シミュレータ(TS)とドライビングシミュレータ(DS)を組み合わせた仮想実験環境下での実験⁴⁾(TS-DS実験)を行うことで、AHS円滑化サービスの具体化に向けて研究開発を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 大口 敬、片倉正彦、鹿田成則：“高速道路単路部をボトルネックとする渋滞発生特性に関する実証的研究”、高速道路と自動車, Vol.44, No.12, 2001年
- 2) 山田芳嗣、阿部重雄、長瀬博紀：“LED表示板を活用した渋滞対策について”、第23回交通工学研究発表会論文報告集、2004年10月
- 3) 大口 敬：“高速道路の交通渋滞対策”、交通工学, Vol.33, No.6, 1998
- 4) M.Kuwahara, S.Tanaka, M.Kano, M.Furukawa, K.Honda, K.Maruoka, T.Yamamoto, T.Shiraishi, H.Hanabusa, and N.Webster: An Enhanced Traffic Simulation System For Interactive Traffic Environment, 2005 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, June, 2005.

牧野浩志*



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター高度道路交通システム研究室主任研究官
Hiroshi MAKINO

大内浩之**



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター高度道路交通システム研究室主任研究官
Hiroyuki OUCHI

平沢隆之***



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター高度道路交通システム研究室研究官
Takayuki HIRASAWA

山田康右****



国土交通省国土技術政策総合研究所高度情報化研究センター高度道路交通システム研究室交流研究員
Kousuke YAMADA