

車線変更行動に着目した サグ部渋滞発生要因に関する一考察

牧野 浩志¹・鈴木 一史²・鹿野島 秀行³・山田 康右⁴・堀口 良太⁵

¹正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: makino-h87bh@nilim.go.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: suzuki-k92td@nilim.go.jp

³正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所（〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地）

E-mail: kanoshima-h92ta@nilim.go.jp

⁴正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社（〒163-6018 東京都新宿区西新宿6丁目8番1号）

E-mail: kousuke.yamada@ss.pacific.co.jp

⁵正会員 株式会社アイ・トランスポート・ラボ（〒101-0062 東京都千代田区神田小川町3-10 新駿河台ビル9階）

E-mail: rhoriguchi@i-transportlab.jp

都市間高速道路のサグ・上り坂部での渋滞発生要因については、上り勾配に伴う速度低下や車線利用の不均衡等が知られており、ITSを活用してそれらの是正を図る情報提供等の対策が実施されている。一方、渋滞発生前の高密度な交通流における車線変更行動と渋滞発生との因果関係に関しては、十分な知見が得られていない。本研究では、車線変更行動と減速波の発生・伝播の関係について、路側ビデオ映像に基づく時空間車両軌跡データ等を用いて分析を行った。また、サグ渋滞対策への一つのアプローチとして、車線変更行動を抑制する方策の合理性に関して示唆を得るため、臨界流下で車線変更を繰り返して先を急ぐアグレッシブドライバが、そうした行動によって短縮し得る所要時間について、ミクロ交通シミュレーションを用いて試行的に評価した。

Key Words : *expressway sag section, traffic congestion, lane changing behavior, traffic simulation, aggressive driver*

1. はじめに

我が国の都市間高速道路においては、サグ・上り坂部での渋滞が全体の約6割を占めており、その対策は重要な課題となっている。

サグ渋滞の発生は、交通流率が高まるにつれて車線利用が追越車線に偏ることにより、大きな車群が形成され、その中をサグの上り勾配で発生した減速波が下流から上流に向けて伝播、増幅されることに起因していることが越¹⁾や大口²⁾らの研究によって知られている。こうした渋滞発生要因に対しては、情報提供により速度低下への注意を促す対策³⁾や、車線利用の適正化を図る対策⁴⁾等の研究開発が行われてきており、それらの一部は既に実用化されている。

著者らはAHS（道路走行支援システム）研究開発で提案されたコンセプトである「ICTを活用し、根本原因の把握、根本原因に直接的に働きかける効果の高い対策検討、必要なときに必要なサービスを提供することによる効果の持続」というコンセプトによる路車協調システムを活用したサグ対策⁵⁾について検討し、渋滞発生要因に応じた情報提供サービスを提案している。当該論文では、渋滞発生前の高密度な交通流における「早く行きたいドライバ」（以下、「アグレッシブドライバ」と呼ぶ）による車線変更行動（強引な割り込み）がコンフリクトを生じさせ、それが後続車の急減速から減速波の発生・伝播に至るひとつの要因となっている可能性を指摘したが、そうした車線変更行動と渋滞発生との因果関係に関しては、既往研究等により十分な知見が得られているとは云

い難い状況である。

そこで本研究では、渋滞発生前の走行車線から追越車線への車線変更行動（強引な割り込み等）に着目し、減速波発生と車線変更行動の因果関係や減速波発生・伝播につながった車線変更行動の特徴について、路側ビデオ映像及びそのトラッキング解析から得られた時空間車両軌跡データ等を用いて分析を行った。

また、サグ渋滞対策への一つのアプローチとして、車線変更行動自体を抑制する方策の合理性に関して示唆を得るため、サグ部付近の臨界状態の交通流下において車線変更や割り込みを繰り返しながら先を急ぐ車両が、そのような行動によって自身の所要時間をどの程度短縮し得るのかについて、ミクロ交通シミュレーションを用いて試行的な評価を行った結果を報告するものである。

さらに、それらの検討結果を踏まえ、今後のITS/ICTを活用したサグ・上り坂部やトンネル部を含むボトルネック渋滞対策の検討手法や方向性について述べる。

2. 追越車線への車線変更行動に起因する減速波発生・伝播状況の抽出

我が国の代表的なサグ渋滞箇所である東名高速道路下り大和サグ部（以下、「大和サグ部」）を対象に、路側に空間的に連続配置されたビデオカメラの映像及びそのトラッキングデータから得られた時空間車両軌跡図等を用い、第2車線から追越車線への車線変更行動（割り込み行動）に起因する上流側への減速波発生・伝播状況を抽出した。

(1) 使用データ

使用した大和サグ部の路側ビデオ映像及びそのトラッキングから得られた時空間車両軌跡データ等の概要を以下に示す。

<使用データ(路側ビデオ映像・車両軌跡データ) 概要>

- 対象区間：大和サグ部のサグ底部付近の約1km区間（路側ビデオカメラNo.3, 5, 7, 9, 11, 12の可視範囲）（図-1）
- 対象日：2010年の渋滞発生日のうち5日間（表-1）
- 対象時間帯：各対象日の渋滞発生直前の30分間
- 減速波の発生件数：5日間で計32件

なお、上記の減速波の発生件数には、減速波が伝播した後には定常的な渋滞に至った場合だけでなく、渋滞までには至らなかった場合も含まれている。

(2) 減速波発生・増幅に繋がった車線変更の抽出

(a) 第2車線から追越車線への全車線変更の抽出

時空間車両軌跡データを用い、対象区間内において行

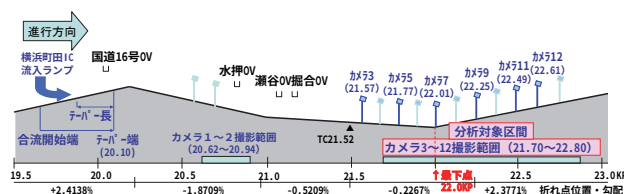


図-1 東名大和サグ部（下り）路側ビデオカメラ設置位置

表-1 分析対象日

日付	渋滞情報		
	渋滞開始	渋滞終了	渋滞継続時間
2010/08/21(土)	6:10	15:35	9時間 25分
2010/09/25(土)	6:45	7:00	15分
2010/10/02(土)	6:40	7:10	30分
2010/10/09(土)	6:05	6:34	29分
2010/10/23(土)	6:10	15:00	8時間 50分

表-2 第2車線から追越車線への車線変更の抽出結果

	対象区間最上流断面 (21.72kp)の 第2車線交通量 ①	対象区間全体での 第2→追越への 車線変更台数 ②	割合 (②/①)
8/21	949	84	8.9%
9/25	790	67	8.5%
10/2	916	87	9.5%
10/9	862	72	8.4%
10/23	849	80	9.4%
合計	4366	390	8.9%

われた第2車線から追越車線への全車線変更を抽出した。抽出した車線変更は、表-2に示すとおり5日間の合計で390件であり、対象区間の最上流側断面（21.72kp）における第2車線交通量の1割弱が追越車線に車線変更したことがわかる。

(b) 減速波発生・増幅に繋がった車線変更の特定方法

本研究では、減速波発生・増幅に繋がった車線変更を以下の2つのパターンに分類できるものと整理し、時空間車両軌跡図とビデオ映像の照合を行うことで、それぞれのパターンに該当する車線変更の特定を行った。

①直接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動

ここでは、追越車線への車線変更行動（割り込み）が直接的に減速波の発生・増幅に繋がる過程について、以下のような仮説を置いた（図-2）。

- 割り込んだ車両あるいは割り込まれた車両が先行車との速度（あるいは車間）調整のためブレーキを踏む。

⇒そのブレーキをきっかけとして、後続車への減速波が発生する。

以上のような減速波の誘発過程の仮説を踏まえ、このような直接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更を次のように定義した。

- 割り込んだ車両の車線変更が完了するまでの間（トラッキングポイント（車両後尾中央）が第2車線と追越車線の車線境界線を跨いだ瞬間から、追越車線内で横方向の移動を完了するまで）に、割り込

んだ車両あるいは割り込まれた車両がブレーキを踏み、かつ、後続車が次々にブレーキを踏んだ場合。

②間接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動

ここでは、追越車線への車線変更行動（割り込み）が間接的に減速波の発生・増幅に繋がる過程について、以下のような仮説を置いた（図-3）。

- ・割り込まれた車両は、先行車との車間が大幅に短くなるため、アクセル操作等により徐々に車間を空けて希望車間に復帰しようとする。

⇒後続車群内の密度が増大し、車間が詰まる。

⇒後続車群の中で、短い車間に耐え切れなくなった車両がブレーキを踏む。

⇒そのブレーキをきっかけとして、後続車への減速波が発生する。

以上のような減速波の誘発過程の仮説を踏まえ、このような間接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更を次のように定義した。

- ・割り込まれた車両が、元の希望車間を確保するまでの間に、後続車（割り込まれた車両あるいは後続10台目までのいずれかの車両）がブレーキを踏み、かつ、さらに後続車が次々にブレーキを踏んだ場合。

(c) 減速波発生・増幅に繋がった車線変更の特定結果

上記(b)に示した定義に基づき、ビデオ映像の目視により、減速波の発生・増幅に繋がった車線変更車両を特定（図-4）した結果、5日間の全減速波32件中9件（3割弱）が、車線変更に起因して発生したものと整理された（表-3）。また、減速波発生・増幅に繋がった車線変更9件のうち、①直接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は3件、②間接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は6件であった。

3. 減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動の時空間的な特性の整理

2.の結果に基づき、減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動と、減速波の発生に繋がらなかった車線変更行動の特性の違いについて分析した。なお、ここでの分析結果は、サグ底部付近の約1km 区間における 5 日間（計 150 分間）の合計値で示している。

(1) 空間特性

減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動の発生位置について、100mピッチで頻度分布を整理した結果、以下の知見を得た（図-5）。

- ・減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は、サグ最

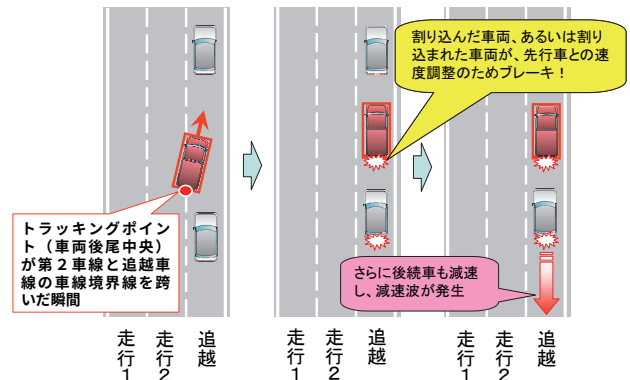


図-2 直接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動のイメージ

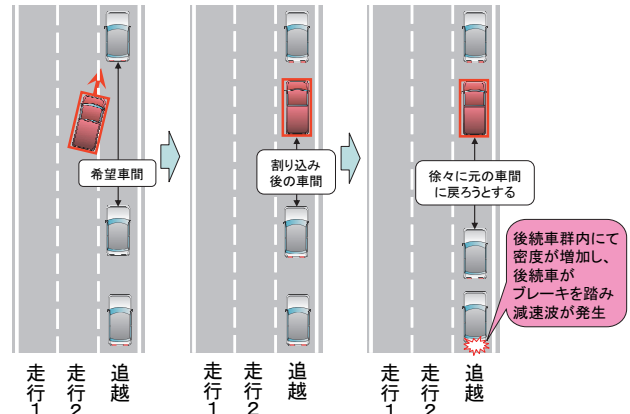


図-3 間接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動のイメージ

表-3 車線変更に起因する減速波の発生件数

減速波の発生要因の内訳	件数	割合
車線変更行動に起因する減速波	9	28%
①直接的に起因する減速波	3	9%
②間接的に起因する減速波	6	19%
その他の要因に起因する減速波	23	72%
合計	32	100%

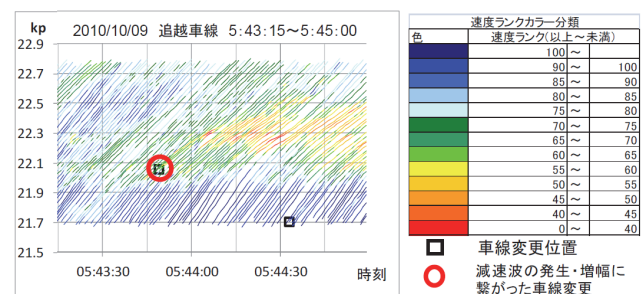


図-4 減速波の発生・増幅に繋がった車線変更と特定された例

下点から下流側400mまでの範囲（22.00～22.40kp）の上り坂区間で多く発生（9件中7件）している。

(2) 交通状態

減速波の発生・増幅に繋がった車線変更行動が発生した交通状態について、各車線変更が行われる直前の車線別1分間交通量ランク別に車線変更回数を整理した結果、以下の知見を得た（表-4）。

なお、ここで用いた車線別1分間交通量は、車両軌跡データに基づき、個別の車線変更ごとに直前1分間の追越車線、第2車線の交通量を集計して算出した。

＜車線変更直前の車線別1分間交通量ランク別の特性＞

- ・追越車線交通量でみると、減速波の発生・増幅に繋がらなかった車線変更は 30～40 台/分において最も多く、減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は 40～50 台/分において最も多く発生している。
- ・第 2 車線交通量でみると、減速波の発生・増幅に繋がらなかった車線変更、繋がった車線変更ともに、30～40 台/分の時に最も多く発生している。
- ・両車線の交通量差でみると、減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は、追越車線の交通量が第2車線よりも多い場合に、より多く発生している。

上記より、減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は、減速波の発生に繋がらなかった車線変更と比較して、より交通量の多い臨界域に近い状態において発生していることが確認された。

(3) 挙動特性（車線変更時の前後車両間のギャップ）

減速波の発生・増幅に繋がった車線変更発生時の追越車線における前後車両間のギャップの特徴について整理し（図-6）、以下の知見を得た。

なお、車線変更発生時の追越車線における前後車両間のギャップは図-7に示すように定義し、車両軌跡データに基づき、個別の車線変更ごとに算出した。

- ・減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は、全車線変更と比較して、相対的に前方ラグ・後方ラグともに短い傾向がある。
- ・特に、直接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は、全車線変更と比較して、後方ラグが大幅に短く、ギャップについても同様である。

以上より、直接的に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更は、追越車線における後方ラグが短いギャップへの強引な車線変更（割り込み）が原因となって減速波を発生・増幅させた可能性が高いことが示唆される。

4. ミクロ交通シミュレーションを用いたアグレッシブ走行による時間短縮効果の評価

高速道路サグ部における交通現象を再現可能なミクロ交通シミュレータを用いて、アグレッシブドライバが混在した状況下での当該車両の区間所要時間を算出し、平均的なドライバの区間所要時間と比較した場合の時間短縮効果を試行的に評価した。アグレッシブドライバの定義は、希望速度が高く、サグ部付近の臨界状態の交通流下において左右の車線変更や割り込みを繰り返す運転行



■	直接的(割り込み)に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更
■	間接的(密度増加)に減速波の発生・増幅に繋がった車線変更
■	減速波に繋がらなかった車線変更
▲	割合((■ + ■) / (■ + ■ + ■))

図-5 車線変更行動の空間特性

表-4 減速波発生に繋がった車線変更発生状況（1分間交通量ランク別）

		追越車線									
		10～20[台/分]	20～30	30～40	40～50	合計					
第2車線	10～20[台/分]	0	0	2	0	1	0	5			
	20～30	0	2	0	40	1	29	2	157		
	30～40	0	0	0	13	2	119	5	73	7	205
	40～50	0	0	0	0	0	4	0	1	0	5
	合計	0	2	0	55	3	211	6	104	9	372

単位：回

※斜体字は減速波発生に繋がらなかった車線変更回数

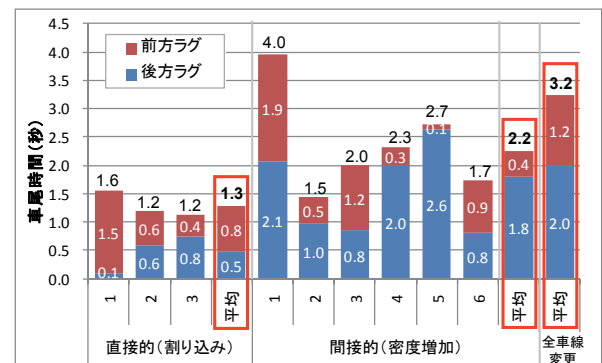


図-6 減速波の発生・増幅に繋がった各車線変更発生時の前方ラグと後方ラグ

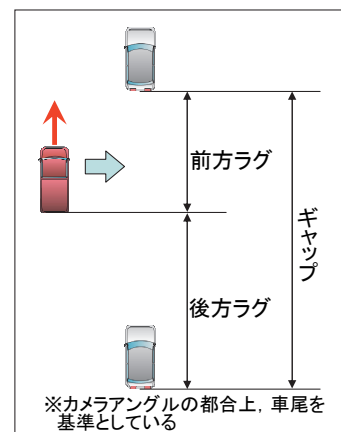


図-7 ギャップと前方ラグ・後方ラグのイメージ

動をとるドライバとする。

(1) サグ部マイクロ交通流シミュレータ

本研究では、岩崎ら⁹⁾によって報告されているマイクロ交通流シミュレータを使用した。これは、Schakel ら⁷⁾による非線形追従走行モデル IDM+を基本として、これに道路縦断勾配による重力加速度抵抗成分と、渋滞巻き込まれ時間の長期化に伴う追従挙動の鈍化傾向を組み込んだものである。

また、このシミュレータには図-8のような判断ロジックによる車線変更モデルが実装されている。図中のA～F、a～dの記号は、それぞれ以下の条件を意味しており、「車線変更希望」の状態になった場合は所定の確率で車線変更を受諾・実行する仕組みになっている。

- A) 現在車線の残余距離が閾値未満
- B) 車線変更指示あり
- C) 右左折交差点までの残余距離が閾値未満
- D) 現在車線前方の停車位置までの残余距離が隣接車線よりも一定以上短い
- E) 走行速度が希望速度よりも一定以上低下
- F) 希望速度で走行し、かつ前方車間距離が閾値以上
- a) 目的車線前方車との速度差が閾値以上
- b) 目的車線の干渉範囲に車両が存在しない
- c) 目的車線の前方・後方ギャップがいずれも閾値以上
- d) 目的車線の前方・後方 TTC がいずれも閾値以上または負値

(2) サグ渋滞の現況再現性検証

次節でのシミュレーションケーススタディに先立ち、2.で分析対象とした大和サグ部における渋滞発生日のうち、2010年8月21日(土)を対象に、サグ渋滞の再現性が得られるようパラメータ調整を繰り返しながら、現況再現ケースを実施した。現況再現ケースでは、渋滞発生時の1時間前から4時間分を対象として実施し、渋滞発生後のボトルネック流率とサグ底部付近の平均速度をトラカンデータと比較した。その際、希望速度や希望車頭時間、最大加速度等の交通流特性に関わるマイクロモデルのパラメータを分布させることで、ドライバ運転特性のばらつきを表現した。(具体的パラメータ設定値については、種類が多いことと、それぞれの意味についての解説が煩雑になるため、本稿では割愛する)

図-9に、サグ部における交通量と速度の時間変化、及び図-10に追越車線での時空間軌跡・速度分布図を示した。これより、ボトルネックでの流率と速度で良好な再現性を得ており、減速波の発生や渋滞の延伸についても、ビデオ観測での様相と類似した状況が再現されているこ

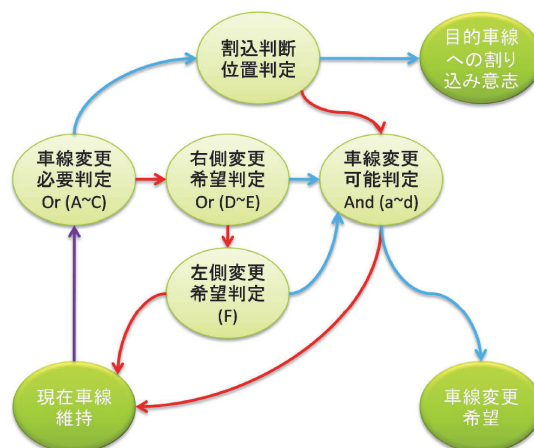


図-8 車線変更モデルの判断ロジック

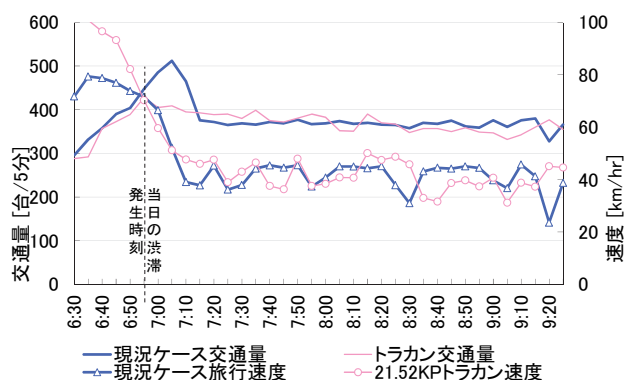


図-9 渋滞発生前後の交通量と速度の再現性比較

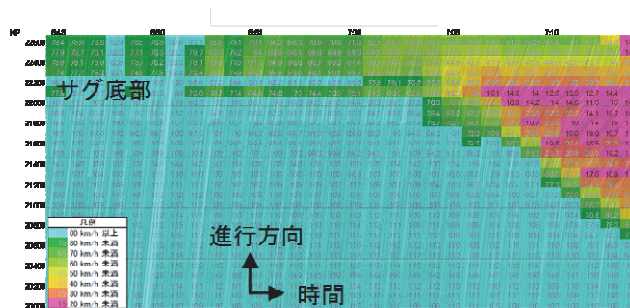


図-10 追越車線の時空間軌跡と速度分布

とを確認した。

また、車線変更関連パラメータについても、ビデオ観測で得られた車線別の交通状態や車群形成状況が再現されるよう、調整を行った。

表-5に現況ケースの車線別交通量・速度、及び車群形成状況に関する指標を比較した。追越車線の交通状況は比較的良好な再現性を得ているが、第1走行車線と第2走行車線については、交通量の大小がビデオ解析結果と逆転した。車線変更挙動については、ドライバの判断・行動に関する知見が十分に得られておらず、現状では全ての車線の交通状態を良好に再現することは困難なため、本稿ではこの結果をもって、次節のケーススタディに用いるパラメータ設定とした。

(3) シミュレーションケーススタディ

表-6 にケーススタディで採用した車線変更関連パラメータ値を示した。一般的なドライバとアグレッシブドライバの挙動の違いは、車線変更受諾確率の設定を変えて表現した。

ケーススタディでは、大和サグ部での交通集中渋滞発生日における渋滞発生前の1時間を対象として、そのうちの10%がアグレッシブドライバであったと仮定した。

図-11は大和サグ部を含む約3km区間を走行する個別車両の通過所要時間を一般的なドライバとアグレッシブドライバの別にプロットしたものであるが、両者に大きな違いは読み取れない。また、表-7に所要時間と車線変更回数について、平均値等の統計値を示した。これより、アグレッシブドライバは多くの車線変更を行っているものの、サグ部を含む区間所要時間でみれば、一般的なドライバとほとんど差異はないことが示唆される。

5. ITSを活用したボトルネック対策の方向性

サグ部での車線変更行動のビデオ観測による解析結果、及びミクロ交通シミュレーションを活用したアグレッシブドライバの所要時間の分析結果から得られた示唆を踏まえ、今後のITSを活用したサグ・上り坂部やトンネル部を含むボトルネック渋滞対策の検討手法や方向性について整理する。

まず、渋滞発生の要因となっている現象の計測手法としてのITSである。近年急速に利用が拡大しつつある画像解析やプローブデータ解析等を活用することで的確に把握した上で、発生要因を排除するための対策を検討することが有効と考えられる。それと併せて、対策実施後には、画像解析やプローブデータ解析を活用して対策前後の現象比較を行い、渋滞発生要因となっていた現象の解消や低減を確認することで、対策効果の検証を行うことも可能となる。

また、対策検討にあたっては、ミクロ交通シミュレータを活用した効果の事前評価を通じて対策案の最適化を行うことで、渋滞箇所ごとの道路交通特性に適合した、よりの確な対策を効率的に立案することが可能になる。

今後の対策の方向性であるが、短期的な施策としては、例えば、ボトルネック区間での車線変更を規制する等のソフト的な対策が考えられる。また、ITSを活用したドライバへの情報提供も有効な対策である。なぜなら、ドライバは自車の外の状況を俯瞰的に把握することは困難なため、道路側でサグ部等における渋滞が発生しそうな状態を判別し、その時の最適な走行方法をドライバに伝えることが有効と考えられるからである。

将来的な対策としては、車線拡幅等のハード的な改良

表-5 現況ケースでの渋滞発生直前の車線別再現性

	走行1	走行2	追越
交通量 [15分]	411 (252)	291 (434)	682 (535)
平均速度 [km/h]	84.0 (79.1)	91.3 (84.9)	109.8 (96.3)
車群数	157	72	46
平均車群 サイズ[台]	1.61	2.96	13.48
車群内平均 車頭時間[s]	1.74 (2.0)	1.56 (1.7)	1.54 (1.4)
車群間平均 車頭時間[s]	3.78 (6.6)	9.97 (4.7)	4.22 (4.6)

()内はビデオ解析による実測値

表-6 車線変更関連パラメータの設定

パラメータ名	値
走行車線残余距離閾値	300 m±50
速度低下閾値	5 km/h
希望受諾確率	
(一般的なドライバ)	0.5 (右)0.1 (左)
(アグレッシブドライバ)	1.0 (右)1.0 (左)
車線変更可能速度差	0 km/h
車線変更可能車間時間	1.5 s
車線変更可能 TTC	2.0 s

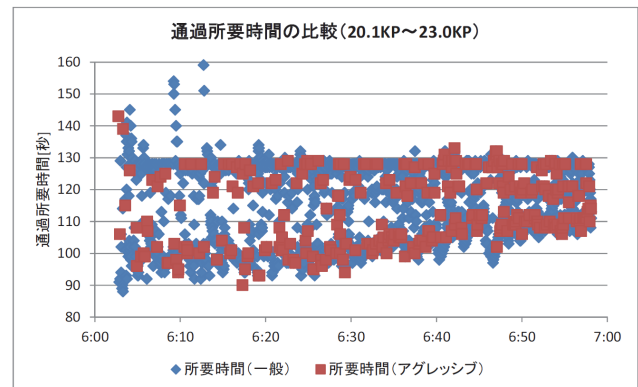


図-11 ケーススタディ結果

表-7 ケーススタディ結果（一般的なドライバとアグレッシブドライバの所要時間、車線変更回数の比較）

ドライバ	一般的な ドライバ	アグレッシブ ドライバ
平均所要時間 [sec]	114.4	114.2
標準偏差	11.6	11.1
最大	159.0	143.0
最小	88.0	90.0
平均車線変更回数	0.5	1.6
標準偏差	1.5	4.6
最大	21.0	45.0
最小	0.0	0.0

に加え、渋滞が発生しそうな状況下において、路肩の走行を許可する動的な付加車線運用を行うこと等も考えらる。その場合も、問題点把握のための計測手法、シミュ

レータを活用した対策の事前評価，ハード的な対策実施後の評価はITS手法を活用することが重要である。

6. おわりに

本研究では，高速道路サグ部における渋滞発生要因に関し，走行車線から追越車線への車線変更行動に着目し，東名大和サグ部における路側ビデオ映像及びそのトラッキング解析に基づく時空間車両軌跡データ等を用いて，車線変更行動と減速波発生の因果関係，及び減速波発生・増幅に繋がった車線変更行動の特徴に係る分析を行った。

その結果，サグ部付近での臨界状態の交通流下で発生した減速波のうち，3 割弱について，追越車線への車線変更行動（割り込み）が直接的または間接的な原因となっている可能性を確認するとともに，そのような車線変更行動が多く発生する位置や交通状態に関する知見を得た。なお，これらの結果は，限られた減速波のサンプルを対象に，一定の仮説に基づく手法を用いて車線変更行動に起因する減速波を特定したものであることから，今後，車線変更行動と減速波発生の因果関係に関する理論を精緻化したうえで，より多くのサンプルを対象としてさらなる分析を行う余地があるといえる。

また，高速道路サグ部における交通現象を再現可能なミクロ交通シミュレータを用いて，サグ部付近の臨界状態の交通流下において車線変更や割り込みを繰り返すアグレッシブドライバの区間所要時間を，平均的なドライバのそれと比較した場合の短縮時間を試行的に評価した結果，両者に殆ど差異は認められなかった。この結果より，サグ渋滞対策の一つのコンセプトとして，車線変更行動自体の抑制を図ることが一定の有効性と合理性を有する可能性が示唆されたものと考ええる。また，サグ渋滞

が始まる直前の臨界状態では車線変更を頻繁に行っても区間を走行する所要時間は変化がないことや，ややもすると渋滞の発生を速めてしまい多くの人に迷惑をかけてしまうことをドライバに理解してもらうことも重要であり，例えば，渋滞が発生しやすい年末年始や GW における広報・啓発活動も有効であろう。

今後，本研究で得られた知見等を礎に，渋滞発生直前での，ドライバの車線選択・車線変更行動についても，現象面やモデリングについて，詳細な研究を行っていくことが必要である。

参考文献

- 1) 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，No.458/IV-18，pp.65-71，1993.
- 2) 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，Vol44 No.12，2001.
- 3) 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，2003.
- 4) Jian Xing，鶴元史，石田貴志，村松栄嗣：片側 3 車線区間における LED 標識を用いた車線利用率平準化渋滞対策の効果検証，第 31 回交通工学研究発表会論文集，pp.167-171，2011.
- 5) 牧野浩志，大内浩之，平沢隆之，山田康右：高速道路サグ部における渋滞対策のための AHS 円滑化サービスの開発に向けた取組み，高速道路と自動車，高速道路と自動車 第 49 巻 第 7 号，pp.54-58，2006.
- 6) 岩崎健，金澤文彦，坂井康一，鈴木一史：高速道路サグ部における ACC 車両の混入状況に応じた渋滞緩和効果，第 10 回 ITS シンポジウム 2011 論文集，2011.
- 7) W J. Schakel, B. Arem, and B. D. Netten: Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on Traffic Flow Stability, 13th International IEEE Annual Conference on Intelligent Transportation Systems, 2010.

A STUDY ON FACTORS CAUSING CONGESTION AT SAG SECTIONS FOCUSING ON LANE CHANGING BEHAVIOUR

Hiroshi MAKINO, Kazufumi SUZUKI, Hideyuki KANOSHIMA,
Kosuke YAMADA, and Ryota HORIGUCHI