

サグ部における運転者の速度制御に関する基礎的考察

Drivers' Speed Control Characteristics near Sag section on a Motorway

小谷益男*¹⁾, 古市朋輝*²⁾, 児島正之*³⁾, 岩崎征人*⁴⁾
M. Kotani, T. Furuichi, M. Kojima and M. Iwasaki

1. はじめに

高速道路のサグ部において交通集中渋滞が発生することは良く知られた事実である。高速道路で発生する渋滞の約 20%~30% がサグに起因する渋滞であり、その交通容量は単路の 70~80% といわれている。¹⁾

しかし、道路設計者にとって予想しなかったサグでの容量低下に対して、明解な対応策や、設計指針は示されていないのである。以下にサグでの容量低下の原因と考えられている事項を示す。^{2), 3)}

- ① サグの認知が遅れることが、加速のタイミングを遅らせ渋滞の発生原因となる。
- ② サグの認知は主に視環境によって決まる。
- ③ 縦断曲線半径が大きすぎると、なめらかに見えすぎてサグの認知が遅れる。
- ④ よって必要以上に大きな縦断曲線は渋滞の原因になりうる。

以上の仮説について著者らは異存をとえないつもりはない。しかしサグ部におけるどのような視環境のためにサグの認知が遅れ、速度低下が発生し、その結果として交通容量が低下しているのであろうか。また運転者手はサグを視覚情報だけで認知しているのであろうか。

サグの認知度について調べるために、著者が平成9年に行った中央自動車道の実験^{4), 5)}では、サグの底部を走行した時に「サグ」と運転者に発声させて、認知度を分析した。この時にサグと発声してもアクセルをすぐには踏まない運転者もあれば、発声の

キーワード: 運転者, 速度制御, サグ区間, 高速道路

*1): 正会員, 千代田コンサルタント, 千代田区飯田橋 3-3-7
電話: 03-5214-1041, Fax: 03-5214-1053

*2): 学正会員, 武蔵工業大学大学院, 土木工学専攻
電話: 03-3703-3111, Fax: 03-5707-1156

*3): 千代田コンサルタント, 千代田区飯田橋 3-3-7
電話: 03-5214-1041, Fax: 03-5214-1053

*4):正会員,工博,武蔵工業大学 工学部土木工学科
電話:03-3703-3111, Fax:03-5707-1156

の前にアクセルを踏込む者もあり、サグの認知と加速行動とは別であることが推測できた。

本報告ではサグ渋滞の最も大きな原因をサグにおける運転者の意図しない速度低下と仮定し、その原因を①道路視環境によるサグの認知遅れ（あるいは不認知）②速度低下を感じないための加速遅れ（あるいは加速不足）と考え、実走行実験からそのメカニズムを解明しようとするものである。具体的には高速道路のサグ部において、単独走行時の運転者の速度制御特性（アクセル開度と速度など）を調査し、サグの認知遅れ、アクセルの踏み遅れ、加速の遅れ、その結果としての速度低下の原因を解明しようとするものである。

2. 実験とデータの集計方法

(1) 実験方法

中央自動車道、八王子～大月間(図-1)で、計測装置を付けた2台の実験車両(トヨタ クラウン ワゴン)を用い、単独走行による実験を行った。計測項目は、以下の5項目である。

- ①速度 ②アクセル開度 ③3 軸加速度
④心拍 ⑤前方影像 (ビデオ撮影)

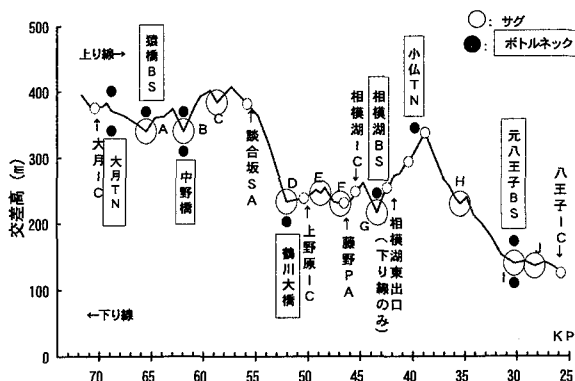


図-1 実験対象区間の縦断図とボトルネック

実験は基本的に単独走行のデータを解析対象に、平成10年12月の平日、2台の調査車両を用いて被験者12人の1往復走行データを計測した。すべての実験データのサンプリングタイムは0.1秒とした。

実験方法は、被験者に走行コースを指示するだけで、通常の運転を行わせた。具体的にはラジオを聞いたり、助手席の友人と話をしたりである。

本報告では膨大なデータの中から①速度②アクセル開度の結果だけを用いて、サグ部における速度変化とアクセルを踏むタイミング（サグの認知）を解析した結果を述べる。

(2) データの集計

走行実験から得られたデータの中から、サグ区間上下線20箇所を3kmの区間で切り出し、それぞれについて単独走行データのみを有効データとした。具体的には前方のビデオ影像からレーンマーク4本(80m)を基準として、それ以上の車間距離を単独走行とした。単独走行のデータを分析する理由は、追従走行では前方車両との車間距離の制御が主となり、道路線形との対応が従となると考えられるからである。

図-2に得られた測定結果の一例を示す。

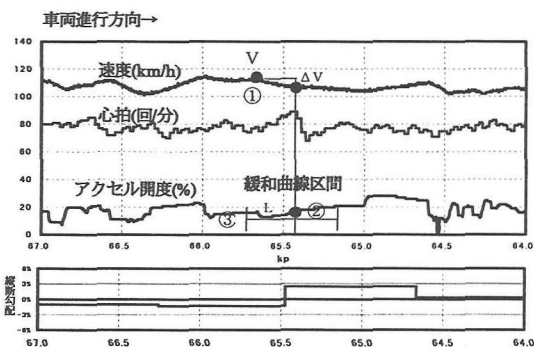


図-2 測定結果の一例(サグA上り)

有効データから読取った項目は以下のとおりである。

- ① 減速開始点: 時刻 (t_1) KP (kp_1) 速度 (v_1)
- ② アクセル踏込点: 時刻 (t_2) KP (kp_2) 速度 (v_2)
- ③ サグの始点: KP(kp_3)

読み取り項目から算定した解析項目は以下のとおりである。

- ・進入速度 $V=v_1$
- ・低下速度 $\Delta V=v_1-v_2$
- ・減速度 $a=(v_1-v_2)/(t_2-t_1)$
- ・サグの認知遅れ距離 $L=|kp_3-kp_2|$

サグ部で運転者が縦断勾配の変化及び速度低下に気づいてアクセルを踏込んだ位置と、縦断曲線の開始位置との距離を、サグの認知遅れ距離と定義する。

3. サグ部における速度制御特性

(1) サグ部における速度変動とアクセル操作

解析対象区間には上下線合計20箇所の、下り勾配、上り勾配、で構成されたサグが存在する。

表-1にサグのリスト及び平成9年のボトルネック地点⁶⁾を示す。

表-1 解析対象のサグリスト(上り線)

地点	I 前勾配 (%)	II 後勾配 (%)	III 勾配差 (%)	VCR (m)	VCL (m)	サグ位置 (kp)	速度変動 パターン	
							上り	下り
A	-1.3	2.5	3.8	12,600	480	65.5	③	①
B	-3.2	3.7	6.9	11,600	800	61.9	④	③
C	-3.0	1.6	4.6	12,800	640	58.7	②	②
D	-5.0	0.3	5.3	18,900	1000	52.0	①	④
E	-1.2	2.1	3.3	8,500	280	48.7	②	①
F	-0.6	0.4	1.0	33,000	320	46.8	①	②
G	-3.5	4.5	8.0	10,000	800	43.4	④	④
H	-1.8	1.4	3.2	12,500	440	35.5	②	①
I	-1.0	0.3	1.3	78,000	1000	30.2	③	①
J	-0.8	0.7	1.5	64,500	1000	28.4	①	①

注) は平成9年のボトルネック地点

サグにおける速度変動は、縦断線形や運転者の速度制御により大きく変化する。しかし、サグ別に速度の平均的な変動を見ると以下に示す4種類のパターンに大きく分類できそうである。

- ①速度低下「小」「回復する」 1/8*
- ②速度低下「大」「回復する」 0/5*
- ③速度低下「小」「回復しない」 3/3*
- ④速度低下「大」「回復しない」 3/4*

*: ボトルネックの割合

またサグ部におけるアクセルの踏み方には運転者の速度制御特性により大きなバラツキがあるが、3種類のパターンに大きく分類できそうである。

①細かいアクセル制御を行う

(被験者の人数5/12 速度変動は小さい)

- ②ステップ関数的なアクセル制御を行う
(被験者の人数 6/12 速度変動は中程度)
- ③ アクセルのオン、オフで制御を行う
(被験者の人数 1/12 速度変動は最も大きい)

図-3 にサグ部での速度変動とアクセル制御の代表例を示す。

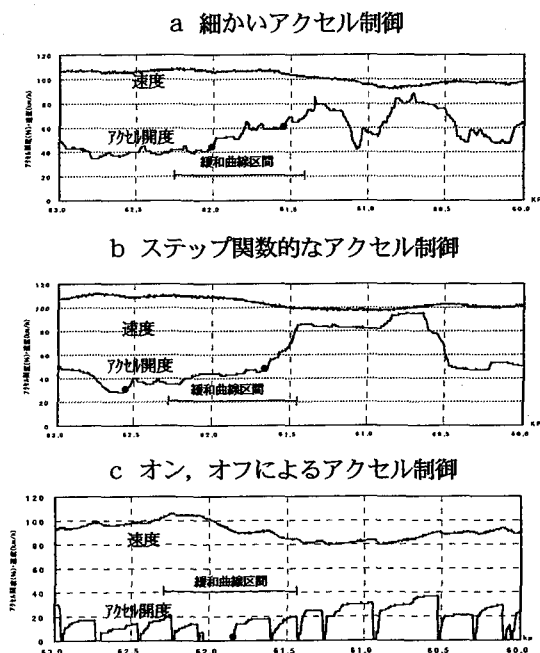


図-3 アクセル開度と速度変動 (サグ B 上り)

(2) 進入速度と低下速度の相関

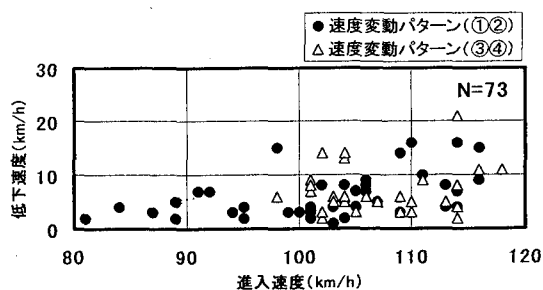


図-4 進入速度と低下速度の関係

進入速度は 80~120km/h、低下速度は 2~21km/h の間に分布している。進入速度が大きくなると低下速度も大きくなる正の比例関係にある

が個人差が大きくバラ付いている。

また速度変動パターンで見ると、速度低下が回復しない③④グループは進入速度が概ね 100km/h 以上と高速側になっている。

(3) 減速度と認知遅れ距離

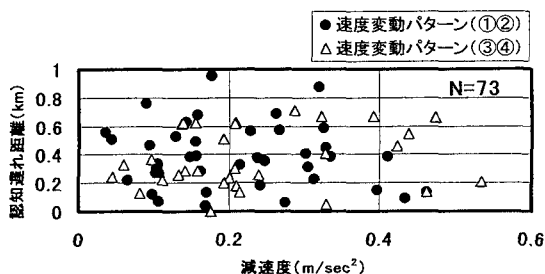


図-5 減速度と認知遅れ距離

減速度はフットブレーキを使うわけではないので、緩和曲線区間で縦断勾配の+側の変動とエンジンプレーキにより、0.05~0.5 (m/sec^2) 程度の分布になっている。認知遅れ距離は 0~1000m 程度の分布である。

両者の関係に相関はない様に見えるが、被験者別に見ると、減速度が大きくなると認知遅れ距離が小さくなるという負の相関が見られる。

(4) 縦断曲線半径と減速度

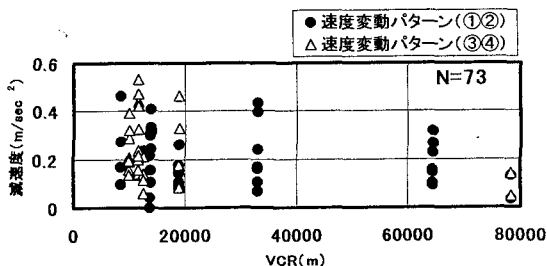


図-6 縦断曲線半径と減速度

縦断曲線半径が大きくなると減速度が小さくなる負の相関が見られる。これは半径が大きくなれば縦断勾配の変化が緩やかになるためと考えられる。しかし縦断曲線半径と認知遅れ距離に正の相関は明らかでなく、大きな縦断曲線が認知を遅らせるという仮説を証明することはできなかった。

4. 考察

サグ部における速度変動パターンを速度低下の大小、速度回復の有無によって4種類に分類した。その結果速度低下の大小よりも速度回復の有無の方がサグ渋滞との相関が高いことが分かった。

速度回復しないサグは解析対象20箇所の内7箇所あり、その内6箇所が平成9年の渋滞発生地点になっている。残る1ヶ所も平成6年には渋滞発生地点であった。この様にサグ部で低下した速度が回復しないことがサグ渋滞の大きな原因であることが分かった。しかしその原因は単純ではない。

〈サグの認知〉

サグ区間に進入してくる運転者は、視覚情報としてサグを認知する。この時①サグ部の視認性②勾配差③VCR(L)④サグ部までの縦断平面線形等がサグの認知に影響を与えるものと考えられる。

〈サグでの速度低下〉

実験の結果上り勾配が小さいサグや、上り勾配区間が短いサグでは速度低下が発生しないケース(サグE, J上下線)もあるが、その他のサグでは速度低下が発生している。

またサグへの進入速度が高いほど、速度低下も大きくなる傾向が見られた。

〈アクセルの踏み込み〉

サグの縦断曲線区間内で縦断勾配の変化及び速度低下を感じた運転者は、アクセルの踏み込みを行う。このとき運転者の速度制御の多様性(サグの認知、速度変化に対する感度)から個々の車両の速度に差が生じる。また実際の現場では車両の余裕駆動力も車種によって大きく異なることから、さらに速度の差は大きくなるものと思われる。

今回の調査結果で速度回復の有無がサグ渋滞との相関が高いということは、アクセルを踏み込むまでの速度低下量よりも、その後の速度低下を含めた最終的な速度低下量が問題であることを示唆するものと考えられる。

本報告ではサグ別に平均的な挙動として、速度回復するサグ、しないサグを区分した。しかし、八王

子BS(上り)の様にほとんどの被験者は速度低下が小さいにも関わらず、アクセルの踏み込みが不足して大きな速度低下を起こす被験者がある場合もあり、平均値だけの評価では問題があることも分かった。

また勾配差が大きい場合、サグの前半部分で早くアクセルを踏みすぎて加速してしまい再度減速するケースが多数発生した。(サグB, G 上下線, D 下り線)

この様におそらくはサグの認知や速度低下に対する感度の低さ、あるいは運転技術や車両性能の優劣によってサグ部で大きな速度低下を引き起こす運転者の存在、また錯覚によりサグ位置を誤認することもサグ渋滞の大きな原因になっていると考えられる。

謝辞

本研究は(財)高速道路調査会の研究補助をいただいていた実験の一部をとりまとめたものであり、高速道路調査会及び日本道路公団の関係各位に謝意を表します。また、サグ渋滞に関するアドバイスを日本大学の越教授からいただきました。ここに記して謝意を表します。

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，No. 371/IV-5，pp. 1-7，1986
- 2) 大口 敬：道路線形と運転挙動との関係に関する研究，東京大学 博士課程学位論文，1993
- 3) 岩間 滋：本線線形設計要領とその運用に関する問題提起，高速道路と自動車，第41巻 第8号，pp. 23-31，1998
- 4) 小谷 益男，岩崎 征人，児島 正之，古市 朋輝：高速道路のサグ部における運転者の認知特性に関する基礎的研究，土木計画学・講演集，No. 21(2)，pp. 913-916，1998
- 5) 古市 朋輝，松本 展知，岩崎 征人，小谷 益男，児島 正之：運転者のサグ(SAG)の認知挙動に関する実験研究，土木学会第53回年次学術講演会講演概要集第4部，pp. 498-499，1998
- 6) 東京第三管理局内 交通統計，日本道路公団東京第三管理局，1998