

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 Some Cognitive Characteristics at Sag Section on a Motorway

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

1. はじめに

我が国の高速道路では、サグ部(縦断線形が凹形になっている区間)や長大トンネルの入り口あるいはSカーブが容量上のボトルネックになっているということはよく知られている。ボトルネックの容量は、単路の70~80%であることが知られている。これらの道路区間では、夏休みや年末年始の長期休暇の間、ボトルネックを先頭とした何10kmもの渋滞がしばしば発生する。

我が国では1970年代の後半から、渋滞した交通流の特性、渋滞時の車群内での追従特性さらには高速道路のボトルネックにおける容量低下に関する多くの研究が行われてきた。^{1)~8)}これらの研究結果によれば、追越し車線の大きな車群の先頭で低速走行する車両の存在、容量状態における車線利用の不均衡、大きな車群内での運転者の反応遅れ、およびボトルネック下流における速度回復の空間的・時間的な遅れが、渋滞や容量低下の原因であると指摘されている。

これらの研究の多くは路側からのシネカメラやビデオカメラで観測されたデータを用いて行われたものである。テスト車両を用いた実験もいくつかある。これらの実験では、速度、車頭距離および加速度などが測定されているが、運転者の人間工学的なデータはほとんど測定されてはこなかった。走行する車両の加速度、速度、車間距離および空間的・時間的な反応遅れといった物理的特性は運転者の運転挙動の最終的な出

力である。ここに、運転者の運転挙動、認知特性と道路線形、路側構造物および路側景観の関係を明らかにし、ボトルネック近傍で生じている交通工学上の問題を解明する必要がある。

筆者らは、速度低下はサグ部における設計者の意図と、運転者の実際の挙動が乖離しているために起こるヒューマンエラーであると認識するものである。本報文では、運転者の意図していない速度低下というヒューマンエラーのために、高速道路のボトルネックにおいて渋滞が発生し、これに伴って容量が低下するとの立場に立つものである。

本研究の最終的な目的の一つは、道路の線形設計上の問題点を改善するため、特に縦断曲線とサグ部における容量低下の対策を考察する基礎的な情報を得ることである。

2. 実験とデータ内容

本実験では、中央自動車道で計測装置を付けた車両を用いて実走行を行った。この区間は山間部になっており、多くの上り、下りの縦断勾配がある。いくつかのサ

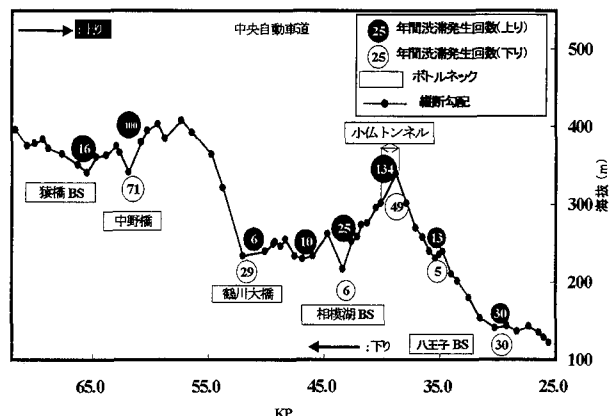


図1 ボトルネック別年間渋滞発生回数(平成6年)

キーワード: 運転者, 認知特性, 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): 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

*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): 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

グ部では休日に大きな交通渋滞が発生している⁹⁾(図-1参照)。実験走行に利用した道路区間の長さは約45kmである。

実験においては、車両の速度、起点からの距離およびアクセル開度が0.2秒毎に記録された。同時に、助手席に設置したビデオカメラによって走行中の道路環境を録画した。実験は12名(男性11名、女性1名の学生)の被験者によって行われた。

実験では、各被験者が八王子ICと大月IC間を二往復している。最初の一往復では、運転者に通常の運転をするように指示されている。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してもらった。二回目の走行実験では、被験者がサグの底部を通過したと認識した時に「サグ」と発声するように指示された。この声はビデオカメラに録音された。二回の走行実験の結果は別々に解析された。

高速道路の詳細な線形図は日本道路公団第三管理局から提供を受けた。ビデオカメラに収録された距離データはそれらの詳細図と精査した。0.2秒毎の速度、「サグ」の発声位置およびアクセル開度のデータも詳細図を用いてその位置を修正している。図-2にデータの一部を示す。

本報文中で用いたデータは、真のサグ底部の位置、サグの縦断勾配、「サグ」と発声した時刻、0.2秒毎の速度およびビデオからハードコピーしたサグ部および沿道環境である。

この実験からは速度、距離および運転挙動等に関する膨大な空間的・時間的なデータを得ることができたが、本報文中で利用したデータはそれらの一部であり、多くのデータの分析には、なおかなりの時間が必要である。本報文中では、サグ区間における運転者のサグ底部の認知度と、空間的・時間的な認知遅れについての分析結果だけを述べている。

3. 認知度の特性

本報文中でいう認知度とは、サグの底部を走行した被験者の内、「サグ」と発声した(サグを認知した)被験者の割合と定義している。また代表勾配は、前後にある縦断勾配の差の絶対値と定義する。図-3に認知度と代表勾配の相関を示した。

この結果によれば、認知度と代表勾配は正の比例関係にあることがわかる。両者の関係に回帰曲線を当てはめるところ、図-3に示すように、直線ではなく対数曲線の適合度が高いことが分かった。これは、刺激の大きさと人間の感覚の関係は対数関係で表現できるという、刺激の強さと人間の感覚との基本特性と一致している。この事実は人間工学の研究分野ではよく知られた事実である。¹⁰⁾今回の実験結果から見て、運転者のサグの認知についても、この事実が当てはまることを明らかにすることができた。

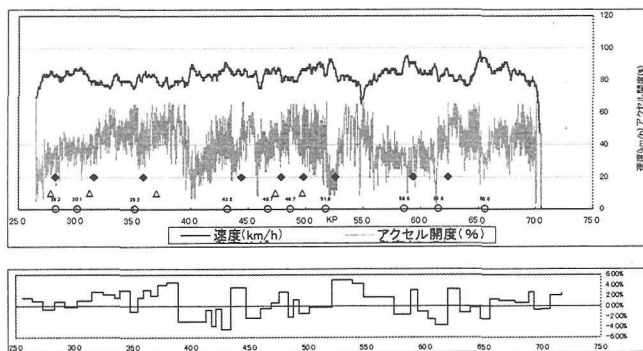


図-2 測定結果

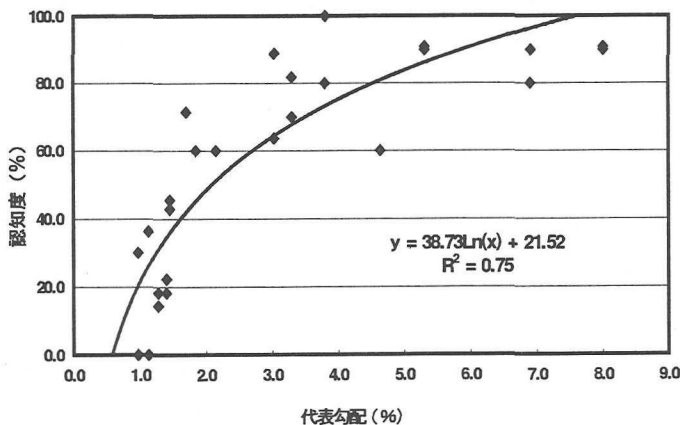


図-3 認知度と代表勾配の関係

4. 運転者の認知遅れに関する特性

運転者の空間的・時間的な認知遅れは、サグ部で加速が遅れる最も大きな原因の一つと考えて良いであろう。筆者らは、遅れの大きさが代表勾配の大きさに反比例していると考えているのだが、現実には、容量上のボトルネックとなるサグとそうでないサグが存在することが報告されている。

図-4,5 に調査地点(下り線)の各サグにおける空間的・時間的な認知遅れと代表勾配との関係を示した。

これによれば、空間的・時間的遅れの両者は、同一の傾向にあることがわかる。同時に、空間的・時間的遅れと代表勾配との間にはほとんど相関性が認められない。この図では、代表勾配の4~6%の領域では、他の勾配の領域よりも若干遅れが小さいことが認められる。しかし、この傾向が有意なものであるかどうかについては、データ数が少ないこともあって、断定することはできそうにない。いずれにしても、ここに示された結果から見て、運転者の空間的・時間的認知遅れが各サグの代表勾配だけに依存しているとは言えそうにないことは明らかである。おそらくは、運転者の認知行動は交通状況や視環境、例えば高速道路の線形や景観にも影響を受けていると考えて良いであろう。

そこで筆者らは、運転者の認知遅れが代表勾配だけでなく、試験区間の平面線形や視環境に依存すると考え、ビデオから得られた映像や詳細線形図を利用して、走行時の道路環境も含め認知遅れに関し以下のような考察を行った。

大きな認知遅れが発生するケースでは、サグ底部に至るまでの区間に多くの平面曲線が存在していることが分かった。このことは、運転者が縦断勾配に注意を払うだけでなく、ハンドル操作を行う必要があり、加えて平面曲線の存在が運転者の見通し距離を制約していることを意味する。こういった状況は、運転者により多くの精神的作業負荷を与える。その結果、

連続する曲線区間の下流にあるサグの認知は、曲線の連続していない区間に比べて空間的・時間的遅れが大きくなるのかもしれない。

一方、上り線と下り線で同一の地点に出現するサグ区間に着目した場合に、上りと下りで認知が早い場合と遅い場合とに明確に区別できた。このようなサグ区間は上り線と下り線が平行している区間であり、同時にサグ底部が平面曲線内に存在している区間であった。さらに、サグを構成する前後の勾配については、上り線、下り線ともほとんど同じ値を持っていることも分かった。このようなサグ区間における運転者の認知は、左回りの平面曲線内のサグについては早くなっているものが、右回では遅くなっていることがビデオ画面のハードコピーを調べることによって判明した。

高速道路の曲線部における事故分析の結果におい

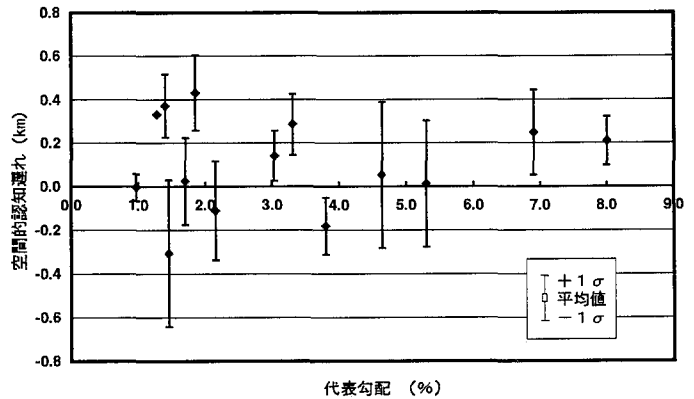


図-4 代表勾配と空間的認知遅れ

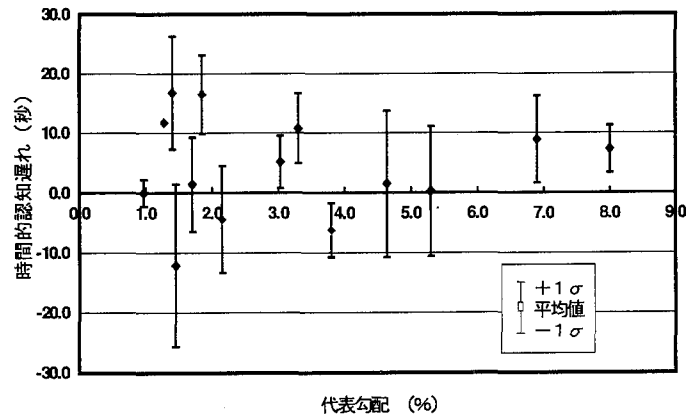


図-5 代表勾配と時間的認知遅れ

でも、右回り曲線と左回り曲線とでは事故率に有意な差がある、との報告のあることを考えると、運転者にとって曲線の曲がる方向が運転挙動に影響を与えていることが考えられるが、今回の分析結果からだけでは明確なことは言えそうにない。

本報文では、分析に用いたデータの量が必ずしも十分ではなく、定量的な分析を行うことができなかった。しかしながら、以上の考察結果から見て、運転者のサグの認知には、平面線形や縦断曲線だけでなく、運転者の視環境、沿道の景観さらには精神的作業負荷など多くの要因が影響していると考えられそうである。

5. まとめ

高速道路における交通容量上のボトルネックになっているサグ部で、運転者の認知特性に関する基礎情報を収集するために走行実験を行った。以下に実験結果から得られた知見を示す。

- 1) サグ部における代表勾配(前後にある縦断勾配の差の絶対値)と運転者のサグ認知の相関は、代表勾配が大きくなればなるほど、認知の度合いが上がるという関係にある。両者の関係は直線関係ではなく、対数曲線の方が適合度の高いことが分かった。この結果は、刺激の強さと感覚の強さの関係が対数相関にあるという、人間工学／認知科学上の基本的な認知特性と一致する。
- 2) 対象となる高速道路には、交通容量上のボトルネックとして知られているサグが多数存在している。真のサグの底部と「サグ」と発声した位置の差を分析した結果、サグの代表勾配が異なる様に差も大きく異なることが分かった。サグの空間的・時間的な認知遅れは縦断線形や代表勾配だけではなく、サグに差しかかるまでの平面曲線の存在、曲線の方向、視環境さらには運転者の精神的作業負荷など多くの要因に影響を受けていると考えた方がよい。

謝辞

本研究を遂行にあたって、日本道路公団の加藤氏および折野氏の協力によって、高速道路の詳細線形図の

借用と実験時の便宜を計っていただいたことに深謝いたします。

人間工学に関するアドバイスを武蔵工業大学の林教授から、サグ渋滞のメカニズムに対する指導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。

また、前武蔵工業大学生の松本氏と長岡技術科学大学の松下氏にデータ解析の手伝いをしていただいた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 桑田起義: 高密度交通流における追従特性に関する研究, 東京大学修士論文, 1976
- 2) 西宮良一: 高密度交通流の現象解析, 東京大学修士論文, 1978
- 3) 岩崎征人: 車両の追従挙動と巨視的交通流現象に関する研究, 東京大学博士論文, 1981
- 4) Koshi, M. Iwasaki, M. and Ohkura, I.: Some Findings and an Overview on Vehicular Flow Characteristics, Proceeding of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, p.12, 1981
- 5) Iwasaki, M. Koshi, M. and Ohkura, I.: Improvement of Congestion Detection on Expressway, Journal of Transportation Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 111, No. 4, pp.327-338, 1985
- 6) 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
- 7) Iwasaki, M.: Empirical Analysis of Congested Traffic Flow Characteristics and Free Speed Affected by Geometric Factors on an Intercity Expressway, Transportation Research Record, No. 1320, pp.242-250, 1991
- 8) Iwasaki, M.: Analysis of Capacity Reduction at Expressway Bottlenecks, Proceeding of the 16th Australian Road Research Board Conference, Part 5, pp.19-30, 1992
- 9) 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, 1995
- 10) 横溝, 小松原: エンジニアのための人間工学, pp. 16-17, 日本出版サービス, 1996