

ドライビングシミュレータによる道路線形の追従挙動に対する影響分析

交通情報工学研究室 吉澤 隆司

1 はじめに

道路交通における渋滞問題は道路利用者に対し時間的損失をもたらし、その集積の結果として我が国の産業に対し多大な経済的損失を生じさせている。そのため交通渋滞問題の解決に向け様々な理論的アプローチが図られており、代表的なものとして追従挙動モデルの構築が挙げられる。追従挙動モデルは、有望な交通管制ツールである交通シミュレーションの精度向上にとっても重要であり、説明力の高いモデルが求められている。

現状の追従挙動モデルの問題点として汎用性の乏しさが挙げられる。サグにおけるボトルネック現象が説明不可能というのは周知の事実である。既往の研究でも、新井らにより自由走行速度に対する道路幾何構造の影響が確認されており、また大口・飯田らにより縦断線形特性値により減速波の発生・伝播過程が異なることが示されている。本研究では、このような特殊な道路線形の下で観測される追従挙動に着目し、追従挙動に対するサグ・カーブの影響の検証を試みる。

2 ドライビングシミュレータを用いた実験

道路線形の影響を分析するためには、その他の条件を統制したデータが多数必要であるが、実観測でそのようなデータを収集することは困難である。そのため本研究では、ドライビングシミュレータ（以下 DS と称する）を用いた実験によりデータ収集を行った。大阪大学工学部の DS を使用し、大学生 37 名を被験者として招致した。

2.1 分析対象線形

カーブ・サグは各々縦断勾配や曲線半径が異なる場合の差をみるため水準が異なる 2 種類のコースを用意した。

表 1 道路線形の種類と水準

No	コース	水準
1	緩カーブ	曲線半径 約800m
2	急カーブ	曲線半径 約400m
3	緩サグ	縦断勾配 約-1.9~+1.6%
4	急サグ	縦断勾配 約-1.9~+5.0%
5	直線	曲線半径 約4000m, 縦断勾配 約-2.5%

2.2 先行車の挙動の設定

追従車の挙動は先行車の挙動に大きく影響を受けると考えられ、追従車に何らかの速度変動が生じたとしても、道路線形の影響を受けたわけではなく、先行車の挙動の影響を受けた可能性がある。追従車の速度の変動要因を道路線形の影響と先行車の影響に分離するため、本研究

では先行車に 2 パターンの挙動を設けた。一方は 95km/h 一定で走行し、他方は線形に応じて速度が変化する DS の実走履歴である。両者で同傾向の速度変動がみられれば道路線形の影響であると判断できる。

3 車両走行挙動の基礎的な分析

3.1 速度推移図による分析

走行挙動に対する道路線形の影響について基礎的な分析を行う。図 1、図 2 は先行車 2 パターンに関する急サグの走行速度推移図である。両パターンとも 62.5KP 付近から減速が始まるのがわかる。サグ底部付近では先行車の速度とも乖離しており、道路線形の影響が窺える。

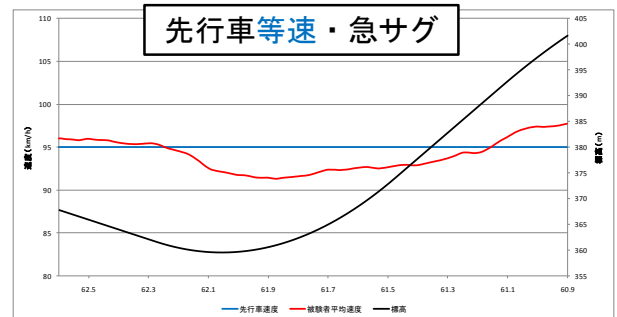


図 1 先行車等速・急サグの速度推移図

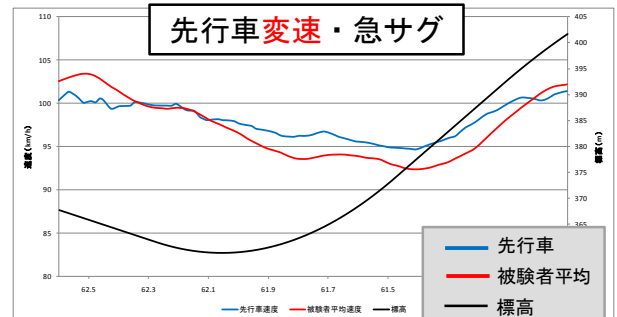


図 2 先行車変速・急サグの速度推移図

3.2 走行特性指標の空間的推移

走行特性指標として速度、相対速度、車間距離を用い、これらが空間的にどのように推移するかを考察する。Welch の検定により対象区間の上流端から 200m ごとに 400m 先の指標値との平均値の差の検定を行う。表 2 は先行車が等速の場合の緩サグと急サグの追従車の速度の増減を表している。サグ底部までの有意な減速はサグ底部で下り勾配による加速がとまったことによると考えられる。上り勾配区間では緩サグでは勾配に適応し加速しているが、急サグでは 61.3KP までには勾配に適応できていないことがみてとれる。線形の緩急によって指標の変化の様子が異なるのがわかる。

表2 速度の増減（等速・緩サグ⇔等速・急サグ）

道路線形	下り勾配	→	底部	→	上り勾配
緩サグ	減少	減少		増加	増加
急サグ	減少	減少			
KP	62.5 ~62.1	62.3 ~61.9	62.1 ~61.7	61.9 ~61.5	61.7 ~61.3

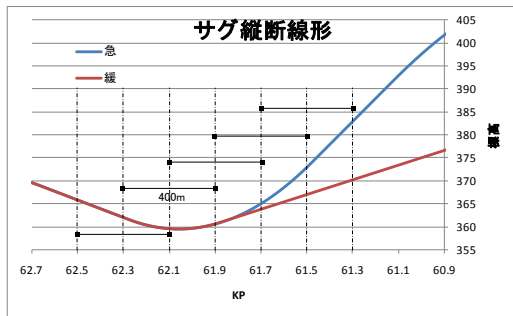


図3 サグ縦断線形と検定ペア

4 追従挙動モデルの構築と分析

4.1 追従挙動モデルの構築

続いて追従挙動モデルを推定する。ケースごとのモデルのパラメータが異なれば追従挙動に差異があるものとする。本研究では、相対速度と車間距離を説明変数とした線形回帰式である Helly モデルを用いることとした。パラメータ a_v , a_d は各説明変数に対する反応強度と考えられ、物理的意味が捉えやすい。

$$\ddot{x}_0(t+T) = a_v(\dot{x}_1(t) - \dot{x}_0(t)) + a_d(x_1(t) - x_0(t)) + b$$

$\ddot{x}(t)$: 加速度, $\dot{x}(t)$: 速度, $x(t)$: 位置, t : 時刻
 a_v, a_d, b, T : パラメータ

本研究では、運転者ごとにモデル推定を行うので、【道路線形(5種)】×【先行車の挙動(2種)】の2要因から成る全10ケースは各々37個のモデルを持つこととなる。ただし、次の非追従状態判定条件により全370個のモデル推定結果のうち267個のモデルのみを分析対象とした。

- (1) 決定係数が0.3未満
- (2) 相対速度による車間距離の説明率が0.9以上
- (3) 車頭時間が3秒以上の状態が5秒以上継続
- (4) 相対速度の増加率の正負の変化点が1つ以下

4.2 モデルパラメータの分析

a_v , a_d を従属変数、道路線形、先行車の挙動を要因とする二元配置分散分析の結果を表3, 表4に示す。 a_v , a_d ともに先行車の挙動は非有意、道路線形が有意に影響していることがわかる。 a_d は交互作用も有意となった。

線形同士の差を比較するため、多重比較の結果を図4, 図5に示す。 a_v は直線区間と緩急サグに差がある。 a_d は交互作用が有意のため全群比較を行った結果、等速・直線とサグで有意差があった。また、本稿には記載してい

ないが、等速・直線と変速・緩カーブの間にも差がみられた。以上より、道路線形によって追従挙動に差異があり、特にサグと直線の違いが顕著であることがわかった。サグでのパラメータの小ささは、上り勾配で先行車に離され、追いつくことができないという現象を説明できることから、妥当な結果であると考えられる。

表3 a_d の分散分析結果

要因	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
モデル	15.944	10	1.594	61.789	0.000
先行車	0.004	1	0.004	0.155	0.694
線形	0.532	4	0.133	5.154	0.001
交互作用	0.181	4	0.045	1.754	0.139
誤差	6.632	257	0.026		
総和	22.576	267			

表4 a_v の分散分析結果

要因	タイプ III 平方和	自由度	平均平方	F 値	有意確率
モデル	0.287	10	0.029	21.477	0.000
先行車	0.003	1	0.003	2.013	0.157
線形	0.029	4	0.007	5.387	0.000
交互作用	0.014	4	0.003	2.562	0.039
誤差	0.344	257	0.001		
総和	0.631	267			

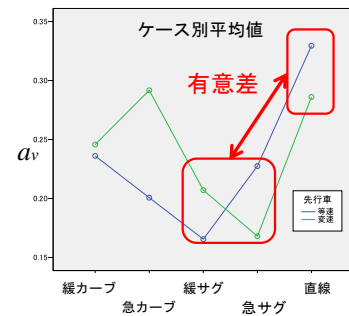


図4 a_v の平均値の多重比較結果

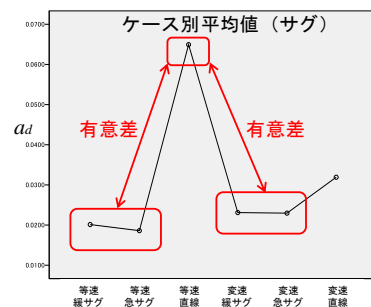


図5 a_d の平均値の多重比較結果

5 まとめ

本研究では、DSにより収集したデータを活用し、追従車の走行に対する道路線形の影響を分析した。追従挙動モデルのパラメータは直線とサグの違いに対して有意な差をもつことがわかり、走行する区間の線形に応じて本質的に追従挙動が異なる可能性を示した。パラメータの大小関係についてもサグの車両挙動を説明できるものであり、適材適所な追従挙動モデルの運用により、交通流の再現性を高めることができると考えられる。