

織込み部における車線変更車の加・減速調節モデルに関する研究*

A Study of Velocity-adjustment Model of Lane-changing Vehicle at Weaving Section*

賓 美營**・飯田恭敬***・宇野伸宏****

By Miyoung BIN, Yasunori IIDA, and Nobuhiro UNO

1.はじめに

道路交通の流れは、利用交通のトリップ特性、運転者特性、車両性能等の多様性のために、往々にしてその流れに乱れが生じ、それが交通流の安全性、円滑性、快適性等を阻害する原因ともなっている。とりわけ多数の義務的な(mandatory)車線変更が生じる合流部や織込み部は、安全かつ円滑な交通を実現する上で、更なる改善が道路交通のハード面でもソフト面でも必要と考えられる。そのため将来的には利用者が受容しやすい走行支援システム(AHS)などのITS技術の適用と、その方向性を具体的に提示することが必要である。

本研究では交通錯綜部を対象とした安全性向上施策評価のための基礎研究として、コンフリクト事象が多く観察される一般道織り込み部に着目し、車線変更車の加・減速調節モデルを開発することをめざす。車線変更車が受入車線に移動する際に加速するか減速するかを判別するモデルを構築し、それを踏まえて減速量を記述するモデルの構築を試みる。

2.本研究の分析対象

織込み部や合流部での車線変更は、利用可能な道路区間に制約を受けるため、周辺の交通状況を考慮することにより、運転者各自の目的達成の意識が強くなり無理な車線変更を行う場合が多い。したがって、周辺車とのコンフリクトがより多く発生すると考えられる。本研究では、このような織込み部の車線変更加・減速調節モデルを開発す

る。図1のように車線変更車 N_0 が時刻 T で車線変更を開始し、周辺車、つまり受入前方車 N_1 、受入後方車 N_2 、前方車 N_3 、後方車の N_4 車の中で最も衝突可能性がある車を意識しながら時間 Δt 間に車線変更を行う状況を想定する。

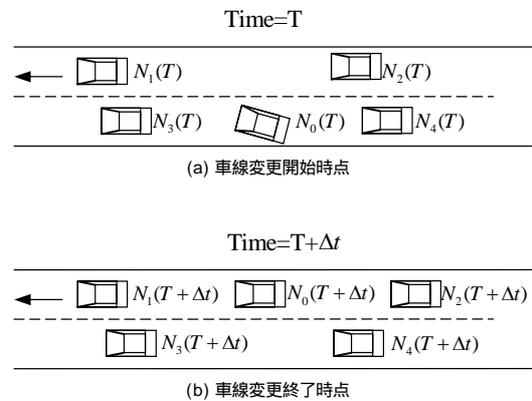


図1 車線変更車の挙動

3.データの収集

(1) 調査対象地点の概要とコンフリクトの指標

車線変更車の加・減速調節モデルを構築するために、国道1号(西向き)京都市山科区奈良野町付近の織込み区間のデータを用いる。対象区間は、道路線形の点で自動車専用道路と比べて、より厳しい一般道路であり織込み部の車線変更に起因するコンフリクトが多く観測される。コンフリクト評価の方法としては、主観的評価と客観的評価¹があるが、本研究では後者を採用し客観的評価指標としてはPICUD(Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration, 急減速時追突危険性指標)を適用した。この指標は前方車が仮に急減速を行うとした時に、後続車が反応遅れ後に急減速して、両車が停止した時の相対的な位置を表す指標である²。

* Keywords: 交通安全, ITS, コンフリクト分析, 車線変更挙動

** 学生員 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

*** フェロ-工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel: 075-753-5124, FAX: 075-753-5907)

**** 正員 博士(工) 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel: 075-753-5126, FAX: 075-753-5907)

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + s_0 - \left(V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (1)$$

- V_1 : 前方車の減速開始時の速度
 V_2 : 前方車の減速開始時後続車の速度
 s_0 : 前方車急減速時の車間距離
 Δt : 前方車ブレーキ開始から後続車ブレーキ開始までの時間, 反応遅れ時間
 a : 減速時の加速度 (-3.3m/sec² と仮定)

PICUD が 0 以下の値を示す状況は, 前方車が突然急減速することにより, 後続車と同じく急減速しても衝突を回避できない可能性を示唆する. 飯田ら³は, PC ベースの車両走行挙動抽出ツールを開発し, 一般道織込み部の走行挙動データ取得して PICUD の活用性を提案してきた. 本研究では, 同じデータを使って行う.

(2) 車線変更状況の概要

対象区間の車両走行挙動データの基礎的な分析結果を踏まえて, 車線変更車ならびにその周辺車両の挙動に関する知見を概括しておく.

車線変更車が車線変更を行う時の速度は, 38Km/hr から 56Km/hr の間であり, 車線変更に必要な時間は, 約 3.5 秒以下と短い時間で車線変更を終了する.

車線変更開始前のラグ (lag) は, 前方車, 後方車, 受入前方車とのラグは 1.5 秒以下の値が多い. 受入後方車とのラグは相対的に長いしその分布も広い.

車線変更開始時の相対速度は, 受入前方車と受入後方車が車線変更車よりほぼ 10Km/hr 早かったが, 車線変更終了時点では, ほぼ相対速度が 0 で受入側の車との速度に従っていることがわ

かる.

(3) 車線変更車の挙動に影響を与える車

ここでは, 車線変更車はその周囲の車両とのコンフリクトの程度を評価しつつ, 車線変更時の挙動を決定すると仮定する. 周囲のいずれの車両との関係を重視して, 車線変更車がその挙動を決定しているかを分析するため, PICUD を特性値とし, 車線変更車の加減速モード (加速 or 減速状態) を因子として分散分析を行った.

車線変更開始時点の周辺車 (前方車, 後方車, 受入前方車, 受入後方車) と車線変更車とのコンフリクト程度を PICUD により評価する. そして, 車線変更車の車線変更終了時点の速度が開始時点より高ければ加速モード, 低ければ減速モードとする. 加速モードの PICUD 値と減速モードの PICUD 値の間に統計的に有意な差が表れた場合, PICUD を算定した対象車両とのコンフリクト程度を評価して, 車線変更車が自らの挙動を決定していた可能性が考えられる.

分散分析の結果を表 1 に示す. 結果として, 減速モードの PICUD と加速モードの PICUD は一致するという帰無仮説を棄却できた受入前方車を対象とした PICUD の計算ケースである. つまり, 車線変更車は, その受入前方車との関係を重視しつつ, 自己の挙動を決定している可能性があるといえる.

4. 車線変更車の加・減速調節モデル

(1) 加・減速調節ルール

前章の分析では, 車線変更車の挙動は受入前方車とのコンフリクトを評価しつつ決定されている

表 1 車線変更車と周辺車との加・減速データと PICUD の分散分析の結果

周辺車	状態	標本数	PICUD			分散分析の結果
			合計	平均	分散	
前方車	減速	42	786.19	18.72	367.49	$F_0 = 3.04 \leq F_{(1,71)}(0.05) = 3.98$
	加速	31	853.04	27.52	574.41	
後方車	減速	39	879.03	22.54	112.14	$F_0 = 3.48 \leq F_{(1,63)}(0.05) = 3.99$
	加速	26	430.88	16.57	191.13	
受入前方車	減速	46	637.37	13.86	319.36	$F_0 = 15.53 \geq F_{(1,79)}(0.05) = 3.96$
	加速	35	1021.13	29.18	275.05	
受入後方車	減速	41	1188.19	28.98	86370.60	$F_0 = 0.21 \leq F_{(1,65)}(0.05) = 3.99$
	加速	26	54.35	2.09	3499.99	

可能性があることが明らかになった。本章ではこの知見も踏まえつつ、具体的な車線変更車の加・減速調節モデルの構築を試みる。本章で説明するモデルは2段階構造を持っている。第一段階としては、車線変更車が加速しつつ受入車線に移動するか、減速しつつ移動するかを判別するモデルの構築を試みる。第2段階では、限られた状況のみではあるが、その減速量を記述できるモデルの構築を試みる。

第一段階のモデルは判別分析によって構築するが、その説明変数として、考えられる最も基礎的なものは車線変更車の速度、受入前方車の速度、この2車両の相対位置の3変数である。本研究では、3変数を用いて判別分析を行い車線変更車の加・減速モードの説明可能性について検討した。判別分析のモデル式としては、2次曲線のマハラノビス距離の考え方に基づくものを採用して求める。各モデルの判別率的中率は式(2)の正答率で判断できる。

$$\text{正答率} = \frac{\text{正しく判定されたデータ数}}{\text{全データ数}} \times 100\% \quad (2)$$

正答率が90%以上になると‘よい’、80~90%になると‘ややよい’、50~80%になると‘再検討の余地がある’といえる。受入前方車以外の車との説明変数をランダムに入れ替えながらその正答率を相対的に比較してみた。次の分析1から分析9において適用した変数とその判別分析を行い、その式の正答率を提示する。

ケース1:車線変更車の速度,受入前方車の速度,そして,相対位置【正答率:79%】

ケース2:車線変更車の速度,受入前方車の速度,そして,PICUD【正答率:79%】

ケース3:車線変更車と受入前方車の相対位置,車線変更車と受入後方車の相対位置,そして,車線変更車と受入前方車間のPICUD【正答率:75%】

ケース4:車線変更車と受入前方車の相対位置,車線変更車と受入後方車の相対位置,そして,車線変更車と受入後方車間のPICUD【正答率:68%】

ケース5:車線変更車の速度,車線変更車と受入前方車の相対位置,そして,車線変更車

と受入後方車の相対位置【正答率:76%】

ケース6:車線変更車と受入前方車との相対速度,車線変更車と受入後方車との相対速度,そして,車線変更車と受入前方車とのPICUD【正答率:78%】

ケース7:車線変更車と受入前方車との相対速度,車線変更車と受入後方車との相対速度,そして,車線変更車と受入後方車とのPICUD【正答率:72%】

ケース8:車線変更車と受入前方車との相対位置,前方車との相対速度,そして,前方車との相対位置【正答率:73%】

ケース9:車線変更車と受入後方車との相対位置,前方車との相対速度,そして,前方車との相対位置【正答率:68%】

上記の分析ケースの中で、最も正答率が高いのはケース1及びケース2であり、ともに車線変更車ならびに受入前方車の速度が説明変数に含まれている。その正答率は79%で‘ややよい’と‘再検討の余地がある’の間である。受入前方車以外車の説明変数を入れたケース3以降の正答率は相対的に低い。したがって、ケース1及び2の正答率は決して十分とは言えないものの他のケースよりは、その説明力が相対的に高いと考えられる。分析1と分析2は、変数を相対位置の代わりにPICUDを用いたがその正答率の値は同じである。次の式(3)は、分析1の結果を用い車線変更車の加速度と減速度のルールを示している。($F_0 = 22.90 \geq F_{(2,78)}(0.05) = 3.15$, ウィルクスの Λ 統計量: 0.63)⁴

$$\text{If } D_{\text{減速}}^2 < D_{\text{加速}}^2 \text{ then 減速する} \quad (3)$$

$$\text{else } D_{\text{減速}}^2 > D_{\text{加速}}^2 \text{ then 加速する}$$

end

ここで,

$$D_{\text{減速}}^2 = [x - 49.22 \quad y - 49.90 \quad z - 19.38] \times$$

$$\begin{bmatrix} 29.69 & -7.01 & 35.73 \\ -7.01 & 75.64 & -25.31 \\ 35.73 & -25.31 & 291.28 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x - 49.22 \\ y - 49.90 \\ z - 19.38 \end{bmatrix} \quad (4)$$

表 2 相関関係の結果

グループ	サンプル数	加・減速度との相関関係			
		車線変更車の速度	受入前方車の速度	相対位置	PICUD
減速・PICUD<0	9	-0.89	0.57	-0.64	0.72
減速・PICUD>0	37	-0.29	0.33	-0.23	0.06
加速・PICUD<0	35	-0.07	-0.12	0.17	0.14
加速・PICUD>0	0	-	-	-	-

表 3 減速モデルの回帰分析結果

モデルの精度			パラメータの推定			
重相関係数 R	重決定係数 R ²	補正 R ²	パラメータ	係数	標準誤差	t 値
0.92	0.85	0.68	相対位置	-0.70	0.11	-5.96
			PICUD	0.77	0.15	5.14

$$D_{加速}^2 = [x - 41.43 \quad y - 52.19 \quad z - 22.96] \times$$

$$\begin{bmatrix} 42.68 & 19.15 & 8.63 \\ 19.15 & 60.05 & -58.63 \\ 8.63 & -58.63 & 345.69 \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} x - 41.43 \\ y - 52.19 \\ z - 22.96 \end{bmatrix} \quad (5)$$

x : 車線変更車の速度

y : 受入前方車の速度

z : 車線変更車と受入前方車の相対位置

(2) 減速モデル

ここでは、先述の第2段階モデルとして、減速度を記述するモデルの構築を試みる。目的変数としては、車線変更車の加・減速度、説明変数としては、車線変更車の速度、受入前方車の速度、2台間の相対位置、そして車線変更車と受入前方車とのPICUDを考え、その相関関係を求めてみた。ここでは全サンプルをPICUDの正負と加速モードか減速モードかによって、4つのグループに分離して検討する。説明変数と目的変数の相関関係を求めたものを表2に示す。その中で、相関関係が最も高く評価されたものは減速のPICUDが'0'以下の場合である。最も危険な状態では運転者は確かに減速することが説明できると考えられる。しかし、PICUDの値が'0'以上の減速と加速は、運転者の人的要因がより影響を与え、相関関係が見られないと考えられる。また、今回、PICUDの値が'0'以下での加速データは、なかった。説明変数間の多重共線性、統計的有意性などを考慮し

最終的に選ばれた説明変数としては、PICUDと相対位置である。回帰分析の結果が表3である。サンプル数が9と少ないが、義務的車線変更車の減速挙動を説明できると考えられる。

5. まとめ

本研究では、義務的車線変更が多いためコンフリクトが頻繁に評価される一般道織り込み部を対象にし車線変更挙動を分析した。コンフリクトに対する車線変更車の挙動を加・減速調節モデルで示すことができた。また、最も危険な状態での挙動モデルとして減速モデルを推定することもできた。しかし、コンフリクトが少しでも緩和される時の運転者の多様性を考慮した車線変更車の挙動のモデル化が必要であると考えられる。今後の課題として残しておく。

【参考文献】

- 1) Allen, B.L. et al., Analysis of Traffic Conflicts and Collisions, Transportation Research Record. 667, p67-74, 1978.
- 2) 宇野伸宏・飯田恭敬・安原真史・菅沼真澄: 一般道織り込み部におけるコンフリクト分析と速度調整モデルの構築, 第25回土木計画学研究発表会, 2002.
- 3) 飯田恭敬・宇野伸宏・井坪慎二・菅沼真澄: 織り込み部におけるコンフリクト分析と車線変更のモデル化, 第24回土木計画学研究発表会講演集, CD-ROM, 2001.
- 4) 石村貞夫: すぐわかる多変量解析, 東京図書, p116-176, 1992.