

# 車線変更時のコンフリクトを考慮した速度調整モデルの構築

Modeling of Vehicular Speed Adjustment Considering Traffic Conflict during Lane-changing Process

菅沼真澄\*・宇野伸宏\*\*・飯田恭敬\*\*\*

By Masumi SUGANUMA, Nobuhiro UNO and Yasunori IIDA

## 1. はじめに

道路交通システムは我が国の人流・物流の多くを担っており、社会経済活動の活性化には不可欠の存在である。一方交通事故により多くの人命や財産が失われていることも厳然たる事実であり、事故原因の約8割は発見遅れや操作・判断ミス等のドライバーの人的ミスに存している。道路交通システムの安全性向上のためには、道路線形、道路案内等について一層の改善を施し、将来的には開発中の走行支援システム(AHS)等のITS技術を有効活用して、包括的な施策の適用により人的ミス自体を予防することが望まれる。そのための基礎として、道路区間の危険度を客観的・定量的に評価可能な方法論が必要となる。

走行支援道路システム(Advanced Cruise-Assist Highway Systems, AHS)の活用も視野に入れた、実効性の高い道路安全システム構築のためには、交通錯綜部の状況を再現・予測するシミュレータの活用が有効と考えられるが、運転者個々の意思決定を考慮し、車両挙動を詳述する必要がある。本研究ではシミュレータ構築に向けた基礎研究として(義務的)車線変更車の挙動に着目し、その関連車両の加減速挙動(速度調整プロセス)のモデル化を試みる。

## 2. 車両走行挙動データの収集

### (1) 調査対象地点の概要

本研究の対象地点は、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である。図-1に示

す通りに、当該地点では国道1号に国道161号が合流し、京都市中心部に向かう府道が直後に国道1号から分流しており、多くの交通コンフリクトが観測される。当該地点における交通流動は、図-1に示す位置に設置されたデジタルビデオカメラで記録された。調査日時は1999年5月25日(火)13時~5月26日(水)13時で、調査主体は建設省(現国土交通省)京都国道工事事務所である。そのうち5月25日15時~18時のビデオデータを分析対象とする。

図-1に示すとおり国道161号から府道(三条)方向への交通は、150m弱の区間で合流・車線変更を行う必要がある。これがコンフリクトの主因の一つと考えられる。本研究では、上記の強制的な(mandatory)車線変更を伴う走行挙動を対象に、0.5秒毎にその走行軌跡をビデオデータから抽出する。

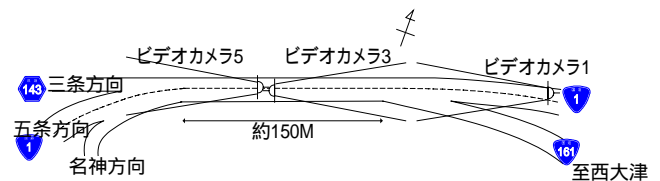


図-1 調査対象地点の概況

### (2) 車両走行挙動データの抽出システム

本研究ではデジタルビデオデータから、パソコン上で車両走行挙動データを抽出するための解析ツールを用いた(図-2)。



図-2 車両走行挙動データ抽出ツール

Keywords: 交通流, 交通安全, ITS, コンフリクト分析

\* 正員 修士(工) 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所

\*\*正員 博士(工) 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel: 075-753-5125, FAX: 075-753-5907)

\*\*\* 正員 工博 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

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

このツールでは、ビデオ画像データの任意のフレームを静止画像としてパソコン画面上に表示可能である。また、画面上の任意地点の画面座標 ( $U, V$ ) をマウス操作により得ることができる。これに、写真測量の考え方に基づく変換式(1)および(2)を適用することで、車両の現地座標 ( $X, Y$ ) を取得でき、速度や加速度も計算可能となる<sup>1)</sup>。なお、 $Y$  座標が車両の進行方向に沿った座標軸であり、 $X$  座標はそれに直交する方向で設定されている。

$$X = \frac{L_1U + L_2V + L_3}{N_1U + N_2V + 1} \quad (1)$$

$$Y = \frac{M_1U + M_2V + M_3}{N_1U + N_2V + 1} \quad (2)$$

$X, Y$  : 推定された現地  $X, Y$  座標

$U, V$  : 画面座標

$L_1, L_2, L_3, M_1, M_2, M_3, N_1, N_2$  : 推定パラメータ

また、画面上の任意の地点にマウスにより引いた基準線を目印に画像のフレーム数をカウントすることにより、最小単位 1/30 秒で車両間の車尾時間(車頭時間と同等の意味を持つ)も計測できる。

### 3. 加減速挙動のモデル化の対象

#### (1) 客観的コンフリクト評価指標

TTC(Time to collision)とは、もしも2台の車両がその時点での速度と進行方向を保持すると仮定した場合に、2車両の衝突までに要する時間でコンフリクトの程度を評価する指標である<sup>2)</sup>。ところが、TTCでは前方車両の速度が相対的に速い場合は有限な評価値としては算出できず、安定的に危険度を評価することが難しい。前方車の相対速度が多少高くても両車の距離が小さければ、前方車が急減速した時に衝突する危険性が考えられる。このことを、評価するため導入した指標が PICUD (Possibility Index for Collision with Urgent Deceleration, 急減速時追突危険性指標)である。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。

$$PICUD = \frac{V_1^2}{-2a} + s_0 - \left( V_2 \Delta t + \frac{V_2^2}{-2a} \right) \quad (3)$$

$V_1$  : 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  
 $\Delta t$  : 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/sec<sup>2</sup> 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。

#### (2) モデル化対象となる走行挙動の整理

対象区間における義務的車線変更車に起因するコンフリクトを、シミュレーションにより再現・予測するためには、図-3の加減速挙動のうち車線変更車が行う「車線変更時加減速挙動」、および受入後方車が行う「車線変更車受入時加減速挙動」の分析・モデル化が不可欠である。

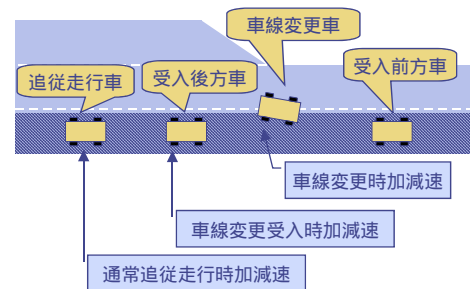


図-3 モデル化対象車両挙動と関係車両呼称

#### (3) コンフリクト指標に基づく対象データの抽出

本研究では、前述の客観的コンフリクト指標 PICUD (急減速時追突危険性指標)に基づき、モデル化対象のデータを抽出した。「車線変更時加減速挙動」のモデル化に際しては、車両間の潜在的衝突危険性を評価し、表-1に示す様に車線変更車と受入前方車および受入後方車との衝突危険性が高い場面を分析対象データとして抽出した<sup>1)</sup>。なお、PICUD が 0m となる状況を潜在的衝突危険性有りと定義した。

表-1 PICUD による潜在的衝突危険性の分類

受入前方・車線変更	危険	危険	安全	安全
受入後方・車線変更	危険	安全	危険	安全

また、「車線変更車受入時加減速挙動」のモデル化では、車線変更車と受入後方車との PICUD が 0(m) 以下の状況が存在したケースを「衝突危険性あり」

とみなし、このデータを分析対象とした。一般的にドライバーの運転挙動は個人差が大きいためモデル化が難しいが、コンフリクトの程度が高く、運転の自由度が小さい環境では個人差の影響が相対的に小さくなると考えられる。本研究では織込み部走行車両の加減速挙動モデル化の第一段階として、衝突危険性が高い状況に着目しモデル化する。

#### 4. 車線変更過程の加減速挙動モデル

##### (1) 車線変更時加減速挙動のモデル化

多重ファジィ推論を利用して加減速挙動のモデル化を試みる。X（車線横断）方向車間距離・受入前方PICUD・受入後方PICUD・受入前方車間距離・受入前方相対速度・前時刻（0.5秒前）加速度を説明変数候補とする。この説明変数候補を対象として、加速度を特性値とした分散分析を行い、車線変更時加速度に対する説明変数候補の作用および変数間の交互作用の確認を試みた（表-2）。表-2の分析結果は、後述の表-3の説明変数セット1に対応している。

表-2の結果については、3説明変数候補（X方向車間距離，受入前方PICUD，受入後方PICUD）の主効果とともに、3変数の組合せの作用（交互作用）も、車線変更車の加減速挙動に統計的に有意な影響を及ぼす可能性が示唆された。特に交互作用が有意であることから、複数の説明変数を組み合わせて車両挙動を表すルールを構築する、ファジィ推論の適用が妥当である可能性が高いと言える。

表-2 加速度を特性値とした分散分析

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F値	P値	判定
X方向車間距離(A)	40.2	1	40.18	171.63	3.5E-23	**
受入前方PICUD(B)	268.9	2	134.44	574.21	1.7E-54	**
受入後方PICUD(C)	99.6	2	49.79	212.67	3.5E-36	**
A×B×C	57.8	4	14.44	61.69	8.0E-26	**
誤差	22.7	97	0.23			
全体	489.1	106				

分散分析による予備的な分析を踏まえて、有意と認められた変数の組み合わせ（表-3）に対して、ルールごとの加速度観測値の平均値等を参考にして試行錯誤的に「ルール構築」を行う（表-4）。なお、反応遅れ時間Tは観測不可能な変数であるので、T=0.5（秒）とT=1.0（秒）の2通りを仮定している。

表-3 説明変数の組合せ（車線変更時）

説明変数セット	説明変数候補	仮定反応時間(秒)
1	X方向車間距離・受入前方PICUD・受入後方PICUD	0.5
2	X方向車間距離・受入前方車間距離・受入前方相対速度	0.5
3	前時刻加速度・受入前方車間距離・受入前方相対速度	0.5
4	X方向車間距離・受入前方PICUD・受入後方PICUD	1.0
5	X方向車間距離・受入前方車間距離・受入前方相対速度	1.0
6	前時刻加速度・受入前方車間距離・受入前方相対速度	1.0

車両間の位置関係は「車線変更車」を基準。

表-4 ファジィ推論のルールの例（説明変数セット1）

X方向車間距離(A)	受入前方PICUD(B)	受入後方PICUD(C)	加速度平均値(m/s <sup>2</sup> )	後件部ルール	
1	近い	1 危険	1 危険	-1.22	2 弱い減速
1	近い	1 危険	2 中立	-2.16	1 強い減速
1	近い	1 危険	3 安全	-2.10	1 強い減速
1	近い	2 中立	1 危険	-0.47	3 中立
1	近い	2 中立	2 中立	-0.76	2 弱い減速
1	近い	2 中立	3 安全	-2.16	1 強い減速
1	近い	3 安全	1 危険	0.86	5 強い加速
1	近い	3 安全	2 中立	1.42	4 弱い加速
1	近い	3 安全	3 安全	0.47	3 中立
2	遠い	1 危険	1 危険	0.31	3 中立
2	遠い	1 危険	2 中立	-0.78	2 弱い減速
2	遠い	1 危険	3 安全	-2.18	1 強い減速
2	遠い	2 中立	1 危険	0.34	3 中立
2	遠い	2 中立	2 中立	-2.00	3 中立
2	遠い	2 中立	3 安全	-0.70	2 弱い減速
2	遠い	3 安全	1 危険	1.01	5 強い加速
2	遠い	3 安全	2 中立	1.58	4 弱い加速
2	遠い	3 安全	3 安全	-0.24	3 中立

ルール構築の後に、加速度観測値とファジィ推論による推定値との相関係数が増加するように、trial & error で（三角型）メンバシップ関数のチューニングを行った。表-5は、車線変更時加減速度の観測値とファジィ推論による推定値との相関係数を示す。

表-5 変数セットごとの相関係数（車線変更時）

仮定反応時間T(秒)	説明変数セット	相関係数
0.5	セット1	0.62
	セット2	0.55
	セット3	0.55
1.0	セット4	0.48
	セット5	0.38
	セット6	0.39

この相関係数から統計的に最適と判断されるモデルは、「(セット1) X方向車間距離・受入前方PICUD・受入後方PICUD」を説明変数とし「反応遅れ時間: 0.5(秒)」とするモデルであり、加速度の推定値と観測値との相関係数は0.62であった。説明変数セット1について、加速度の推定値と観測値の

散布図を図-4に示す。

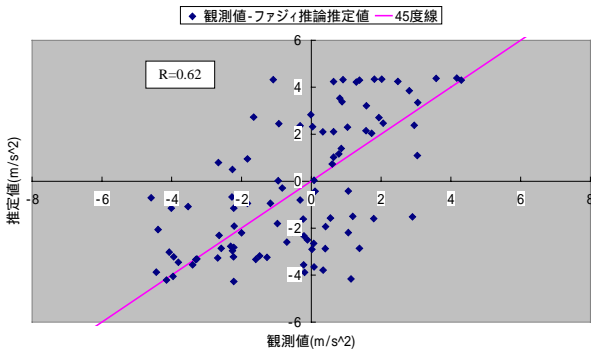


図-4 加速度推定値・観測値の散布図(説明変数セット1)

このモデルの特徴的な点は、客観的コンフリクト指標 PICUD を説明変数としている点、ならびに、仮定されている反応時間が 0.5 秒と短い点である。観測される車線変更挙動自体が、数秒間で完了する事象であり、取得可能なサンプル数にも制約があるため、1.0 秒を越える反応時間を仮定した分析はできていない。しかしながら、当該区間のコンフリクトの頻度が高く、またその影響度も大きいため、走行車両は周辺車両の挙動を常に注視していると考えられ、その結果、短い反応時間を仮定したモデルの現象説明力が、相対的に高まったものとも推察される。

(2) 車線変更車受入時加減速挙動のモデル化

車線変更車受入時の受入後方車の加減速挙動をモデル化する。分析の手順は、「車線変更時加速度」と同様であり、受入後方車と車線変更車との潜在的衝突危険性が高い場面に着目する。説明変数候補の組合せを表-6に示す。

表-6 説明変数の組合せ(車線変更車受入時)

説明変数セット	説明変数候補	仮定反応時間(秒)
1	前時刻加速度・車線変更車車間距離・車線変更車相対速度	0.5
2	X方向車間距離・車線変更車車間距離・車線変更車相対速度	0.5
3	前時刻加速度・X方向車間距離・車線変更車PICUD	0.5
4	前時刻加速度・車線変更車車間距離・車線変更車相対速度	1.0
5	X方向車間距離・車線変更車車間距離・車線変更車相対速度	1.0
6	前時刻加速度・X方向車間距離・車線変更車PICUD	1.0

車両間の相対関係は「受入後方車」を基準。

メンバシップ関数のチューニングプロセスを経て、統計的・相対的に望ましいと判断された説明変数および反応時間の組合せは、「(セット1)前時刻加速度・車線変更車車間距離・車線変更車相対速度、反応遅れ時間：0.5(秒)」であった。しかし、その相関係数は 0.53 であり(表-7)、加減速を表現するモデルとしての説明力は、十分とは言えない。説明変数の追加などの対応が必要と考えられる。

表-7 変数セットごとの相関係数(車線変更車受入時)

仮定反応時間T(秒)	説明変数セット	相関係数
0.5	セット1	0.53
	セット2	0.48
	セット3	0.52
1.0	セット4	0.42
	セット5	0.44
	セット6	0.46

5. おわりに

本研究では一般道織込み部の車両走行挙動データを用い、ファジィ推論を活用して車線変更時および車線変更受入時の加減速挙動のモデル化を試みた。試行錯誤的なモデル構築手法ではあるが、変数選定に分散分析、ルール構築に観測データの平均値、メンバシップ関数のチューニングに相関係数を各々参考にし、推定手法の体系化を図った。今後の課題は本研究で構築した加減速挙動モデルを含むシミュレーションを構築することである。

謝辞：本研究の遂行にあたり、土木計画学研究委員会・ITS 社会に向けた交通事故分析に関する研究小委員会より多大なるご支援をいただいた。ビデオデータの利用では、国土交通省京都国道工事事務所ならびに(株)修成建設コンサルタントのご協力を得た。また、金沢大学高山純一先生・中山晶一朗先生より有益なご助言を多数頂戴した。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 飯田恭敬・宇野伸宏・井坪慎二・菅沼真澄：織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.
- 2) Hayward, J.C.: Near-miss determination through use of a scale of danger. Highway Research Record, 24-34, 1972.