

相対速度を考慮した OV モデルにおける衝突発生に関する研究

内藤 雄一, 長谷 隆

静岡大学大学院 工学研究科 機械工学専攻

概要

前走車との相対速度を考慮するように拡張した OV モデルを用いて車線変更時の衝突-非衝突に関する数値シミュレーションを行う。二車線高速道路において車線変更した車とその前走車・後続車との車間距離と速度をプロットした車間距離-速度線図によって車線変更時の車の挙動を明らかにする。車線変更時の衝突-非衝突は車線変更する車の速度、感応度、車間距離、相対速度考慮係数に依存する。これらを変化させることで衝突-非衝突の領域マップを導出し、パラメータ依存性を明らかにする。

The occurrence of collision in OV model considering the velocity difference

Yuichi Naito, Takashi Nagatani

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

Abstract

We apply the extended optimal velocity model to the vehicular motion to take into account the velocity difference. We study the traffic behavior when a vehicle changes from the first lane to the second lane on a two-lane highway. We investigate whether or not the incoming vehicle collides with the vehicles ahead or behind. We derive such conditions that the incoming vehicle comes into collision with the vehicles ahead or behind. The occurrence of collision when a vehicle changes the lane depends highly on the vehicular speed, the sensitivity, the headway and the velocity difference. We derive the region map for the occurrence of collision.

1 はじめに

高速道路において発生する事故のひとつとして挙げられるのが無理な車線変更をすることによって引き起こされる前走車への衝突または後続車からの追突事故である。車線変更時における衝突事故は渋滞原因となるだけでなくドライバーにとって非常に危険である。特に、ジャンクションなどの分合流部では衝突事故が多発している。しかし、このような車線変更時における衝突-非衝突を扱った研究はあまり成されていない。

本研究では車間距離だけでなく前走車との相対速度を考慮するように拡張した OV モデルを用いて二車線高速道路を走行する車の車線変更時の挙動を明らかにする。ターゲット

トレーンにおいて車線変更した車とその前走車・後続車との車間距離と速度をプロットすることにより車線変更時の車がどのような挙動を示すのか明らかにする。車線変更時においては車線変更する車の速度、感応度、車間距離、相対速度考慮係数によって車が衝突するかどうか決定される。この条件を調べることにより衝突-非衝突の特性と領域マップを導出する。

2 シミュレーションモデル

本研究では二車線高速道路において一定の速度、感応度、車間距離で車が走行する第二車線に第一車線から一台の車が車線変更するモデルを考える。図 1 にその概略図を示す。

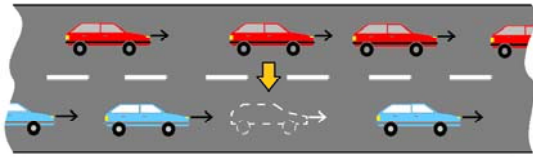


図 1. 二車線高速道路概略図

本シミュレーションモデルにおいては車の運動を前進運動と車線変更に分けて考える。

2.1 前進運動

本研究において車の前進運動として用いる前走車との相対速度を考慮するように拡張した OV モデルは車 i の運動方程式によって次式で表される [1-3].

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} = a \left\{ V(\Delta x_i) - \frac{dx_i}{dt} \right\} + b \left(\frac{dx_{i+1}}{dt} - \frac{dx_i}{dt} \right) \dots (1)$$

ここで $V(\Delta x_i)$ は OV 関数, $x_i(t)$ は時間 t における車 i の位置, $x_{i+1}(t)$ は時間 t における車 $i+1$ の位置, $\Delta x_i(t)$ は時間 t における車 i の車間距離, a は感応度, b は相対速度考慮係数である. 本研究では以下の OV 関数を用いる.

$$V(\Delta x_i) = \frac{v_{\max}}{2} [\tanh(\Delta x_i - x_c) + \tanh(x_c)] \dots (2)$$

ここで v_{\max} は最大速度, x_c は安全距離と呼ぶことにする. 本モデルの前進運動において (1) 式の右辺第二項の係数である相対速度考慮係数 b を導入することにより車は前走車との車間距離だけではなく相対速度も考慮して減速を行う. これにより前走車との速度差が大き過ぎるときの減速がより強くなるため実際の車のブレーキングをうまく再現できる.

2.2 車線変更設定

本モデルでは第一車線を速度 v_{in} で走行する車を第二車線(ターゲットレーン)に車線変更させる. 図 2 に車線変更のモデル図を示す.

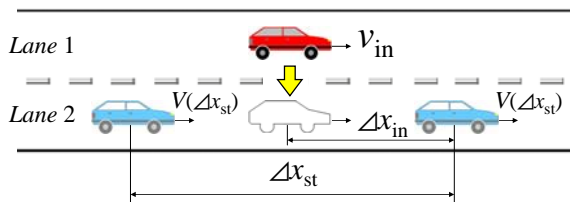


図 2. 車線変更モデル図

図 2 では車が定常状態の車間距離 Δx_{st} における最適速度 $V(\Delta x_{st})$ で走行する第二車線に第一車線から速度 v_{in} で走行する一台の車が車線変更してくるモデルを考える. 車線変更直後の前方車間距離 Δx_{in} を任意に設定して車を車線変更させる. この車線変更した車とターゲットレーンの前走車・後続車が衝突する条件を調べる. パラメータ値として車線変更する車の速度, 感応度, 車間距離, 相対速度考慮係数を変化させて車の衝突・非衝突に及ぼすこれらの影響を調べる. 図 3 に車線変更後のターゲットレーンのモデル図を示す.

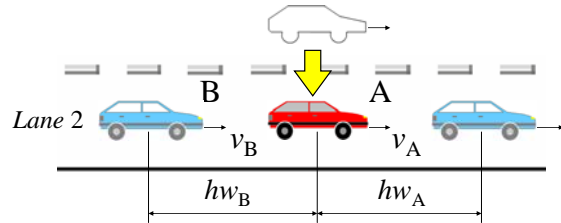


図 3. 車線変更後のターゲットレーンモデル図

図 3 では車線変更した車を A 車, その後続車を B 車とし, A 車の前方車間距離 hw_A , 速度 v_A 及び B 車の前方車間距離 hw_B , 速度 v_B をプロットして車線変更後の車の挙動を調べる.

3 シミュレーション結果

3.1 シミュレーション手法

本研究の数値シミュレーション手法として 4 次の Runge-Kutta 法を用いる. 道路の両端を周期境界とする. 時間刻み $\Delta t = 1/256$ とする. 最大速度 $v_{\max} = 2.0$ とし, 安全距離 $x_c = 4.0$ とする. 定常状態におけるターゲットレーンの車間距離 Δx_{st} で車を配置する. 本研究では一般性を持たせるために無次元化を行った. 代表長さ $L = 7[\text{m}]$, 代表速度 $U = 40[\text{km/h}]$ とすると無次元安全距離 $x_c = 4.0$ は実際の距離では $28[\text{m}]$ に相当する. 無次元最大速度 $v_{\max} = 2.0$ は実際の速度では $80[\text{km/h}]$ に相当する [4]. 無次元化した本研究の結果は代表長さ, 代表速度を用いて有次元化することによって実際の場合に適用できる.

3.2 相対速度考慮による衝突回避

車線変更後の前走車・後続車との車間距離と速度をプロットして車間距離-速度線図を導出し、相対速度考慮による衝突回避を示す。図4に相対速度考慮係数 $b=0.0$ とし、衝突が発生したときの車間距離-速度線図を示す。

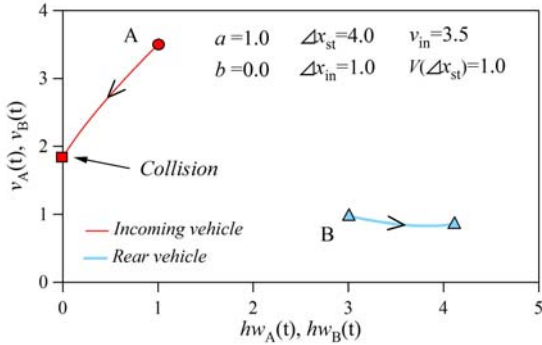


図4. 衝突発生時の車間距離-速度線図

ここで●から始まる線は車線変更した車(A車)の前方車間距離 hw_A 及び速度 v_A をプロットしている。▲から始まる線はその後続車(B車)の前方車間距離 hw_B 及び速度 v_B をプロットしている。A車は車線変更時の速度が大きく、車線変更直後の前方車間距離が十分でないため速度を落とすが、急速に車間距離が縮まり■で前走車に衝突する。一方、B車はA車が車線変更してきた直後は前方車間距離が小さくなるため減速する。図5に相対速度考慮係数 $b=1.0$ とし、前走車との相対速度を考慮することにより衝突を回避した場合の車間距離-速度線図を示す。

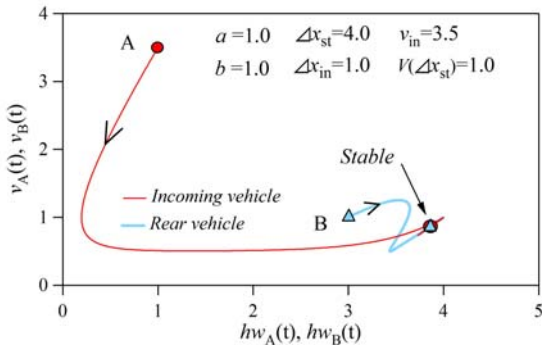


図5. 衝突回避時の車間距離-速度線図

車線変更したA車は前走車との相対速度を考慮して加減速を行う。このため相対的に速度の小さい前走車に対してより強く減速を行い、A車は衝突を回避して定常状態に至る。一方、速度の大きいA車が前方に車線変更してきたB車は追従して加速するが、A車と共に減速に転じて最終的に定常状態に至る。

3.3 衝突-非衝突の領域マップ

車線変更する車の速度(進入速度)、感応度、車間距離、相対速度考慮係数によって車が衝突するかどうか決定される。この条件を調べることにより衝突-非衝突の領域マップを導出する。感応度 $a=1.0$ 、縦軸を進入速度 v_{in} 、横軸を車線変更直後の前方車間距離 Δx_{in} として変化させる。図6に得られた領域マップを示す。

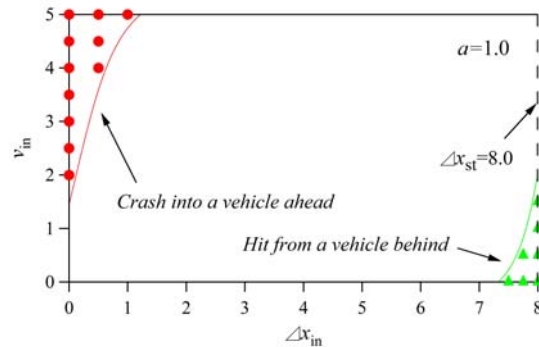


図6. 衝突-非衝突の領域マップ

ここで●、▲は前走車に衝突した点、後続車から追突された点を表す。図6より進入速度 v_{in} が大きく、車線変更直後の前方車間距離 Δx_{in} が小さい(前走車に近い位置で車線変更している)領域では前走車への衝突が発生する。一方、進入速度 v_{in} が小さく車線変更直後の前方車間距離 Δx_{in} が大きい(後続車に近い位置で車線変更している)領域では後続車からの追突が発生する。次に、領域マップにおいて前走車との相対速度を考慮することによる衝突領域の減少を示す。最も一般的な車線変更位置として $\Delta x_{in} = \Delta x_{st}/2$ とし、ターゲットレーンの車間距離の中央に車を車線変更

させることにする。感応度 $a=1.0$ ，縦軸を進入速度 v_{in} ，横軸をターゲットレーンの車間距離 Δx_{st} として変化させる。図 7 に得られた領域マップを示す。

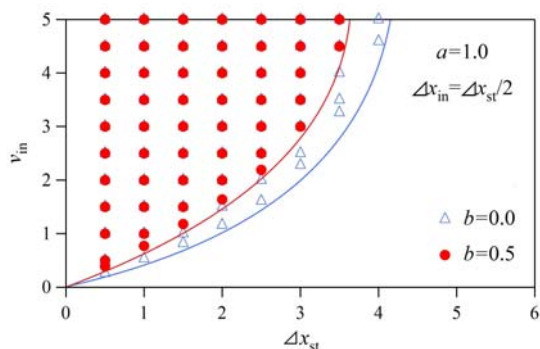


図 7. 進入速度と車間距離に対する領域マップ

ここで Δ ， \bullet は相対速度考慮係数 $b=0.0, 0.5$ に対して衝突が発生した点を表す。図 7 より進入速度 v_{in} が大きくターゲットレーンの車間距離 Δx_{st} が小さいほど衝突が発生しやすく，進入速度 v_{in} が小さくターゲットレーンの車間距離 Δx_{st} が十分にある領域では衝突は発生しない。相対速度考慮係数 $b=0.5$ とすると衝突が発生する領域は減少する。これは車線変更した車がターゲットレーンにおける前走車との相対的な速度差を考慮して減速を行うことにより衝突-非衝突の境界付近において相対速度考慮による衝突回避が発生するためである。図 8 にターゲットレーンの車間距離 $\Delta x_{st}=2.0$ ，縦軸を感応度 a ，横軸を進入速度 v_{in} とした場合の衝突-非衝突の領域マップを示す。

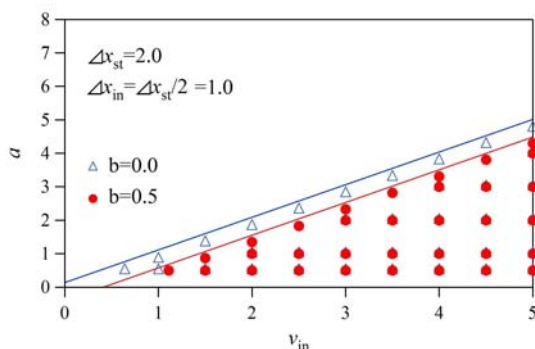


図 8. 感応度と進入速度に対する領域マップ

ここで Δ ， \bullet は相対速度考慮係数 $b=0.0, 0.5$ に対して衝突が発生した点を表す。図 7 より感応度 a が小さく進入速度 v_{in} が大きい領域では衝突が発生しやすく，感応度 a が大きく進入速度 v_{in} が小さい領域では衝突は発生しない。相対速度考慮係数 $b=0.5$ として前走車との相対速度を考慮すると衝突-非衝突の境界付近において衝突回避が発生し，衝突が発生する領域は減少する。

4 まとめ

前走車との相対速度を考慮するように拡張した OV モデルを用いて車線変更する車の挙動と衝突-非衝突に関する数値シミュレーションを行うことにより次の結言を得た。

- 車線変更した車とその前走車・後続車との車間距離と速度をプロットした車間距離-速度線図により衝突-非衝突時の車の挙動を明らかにした。また，前走車との相対速度を考慮することにより衝突を回避できることを示した。
- 車線変更時に車が衝突するかどうかは速度，感応度，車間距離，相対速度考慮係数によって決定され，これらのパラメータ値を変化させることで衝突-非衝突の領域マップを導出した。
- 衝突-非衝突の領域マップにおいて車線変更する車の速度が大きく，感応度が小さく，車間距離が十分でない領域では衝突が発生する。相対速度考慮係数を大きくすると衝突が発生する領域は減少することを明らかにした。

参考文献

- [1] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, Phys. Rev. E 51 (1995) 1035-1042.
- [2] D. Helbing, B. Tilch, Phys. Rev. E 58 (1998) 133-138.
- [3] H. X. Ge, R. J. Cheng, Z. P. Li, Physica A 387 (2008) 5239-5245.
- [4] 増倉秀一，田中克典，長谷隆，ながれ，第 27 巻，第 3 号 (2008) 251-258.