

# 車線変更による衝突-非衝突転移に関する研究

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

最適速度モデルを用いて車線変更する車の衝突-非衝突転移について研究する. 車線変更時の衝突-非衝突は車線変更する車の速度, 感度, ターゲットレーンを走行する車の速度, ターゲットレーンを走行する車の車間距離に依存する. この結果として衝突-非衝突転移の領域マップを導出する. 車線変更直後の前後を走行する車との車間距離と速度をプロットして車間距離-速度線図を示すことにより車線変更直後の車の挙動についても明らかにする.

## Safety-crash transition induced by lane changing in traffic flow

Yuichi Naito, Takashi Nagatani

Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

## Abstract

We study the traffic behavior when a vehicle changes from the first lane to the second lane on two-lane highway. We apply the optimal velocity model to the vehicular motion. The incoming vehicle accelerates or decelerates by interacting with the vehicle ahead on the second lane. If the incoming vehicle does not decelerate successfully, it crashes into the vehicle ahead. On the other hand, if the headway between the incoming vehicle and the vehicle behind on the second lane is not long sufficiently, the rear vehicle may come into collision with the incoming vehicle. The safety-crash transition occurs by changing the lane. The dynamical transition depends highly on the vehicular speed, the sensitivity, and the headway. We derive the phase diagram (or region map) for the safety-crash transition.

## 1 緒言

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. 無理な車線変更による衝突事故は渋滞原因となるだけでなく通常走行時であればスピードが出ているためドライバーにとって非常に危険である. しかし, この様な車線変更時における衝突-非衝突を扱った研究はほとんど成されていない. 本研究では最適速度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. 車線変更時には車線変更する車の速度, 感度, ターゲットレーンを走行する

車の速度, ターゲットレーンを走行する車の車間距離によって車線変更する車が衝突するかどうか決定される. この衝突-非衝突転移の特性と領域マップを導出する. また, ターゲットレーンにおいて車線変更した直後の車と前後を走行する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直後の車がどのような挙動を示すのか明らかにする.

## 2 シミュレーションモデル

本研究では車群が一定の速度, 感度, 車間距離で走行する第二車線に 1 台の車が第一車線から車線変更してくるシミュレーションモデルを考える. 図 1 にその概略図を示す.

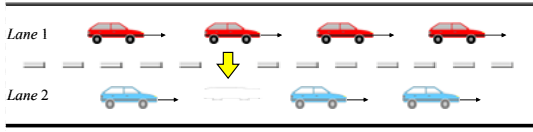


図 1. モデル概略図

本モデルにおいては車の運動を前進運動と車線変更運動に分けて考える。

## 2.1 前進運動

本研究では車の前進運動として最適速度モデルを用いる[1],[2]. 最適速度モデルは車  $i$  の運動方程式によって次式で表される。

$$\frac{d^2 x_i}{dt^2} = a \left\{ V(\Delta x_i) - \frac{dx_i}{dt} \right\}$$

ここで  $V(\Delta x_i)$  は最適速度関数,  $x_i(t)$  は時間  $t$  における車  $i$  の位置,  $\Delta x_i(t)$  は時間  $t$  における車  $i$  の車間距離,  $a$  は感度である. 本研究では以下の最適速度関数を用いる。

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

ここで  $v_{\max}$  は最大速度,  $x_c$  は安全距離である。

## 2.2 車線変更運動

第二車線の定常状態における車間距離を  $\Delta x_{st}$  とする. このとき, 車が  $\Delta x_{st}$  における最適速度  $V(\Delta x_{st})$  で走行する第二車線(ターゲットレーン)に第一車線から速度  $V_{in}$  で走行する 1 台の車が車線変更をしてくる。

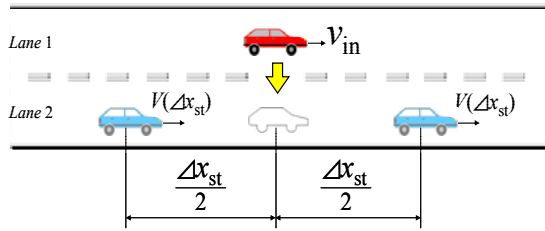


図 2. 車間中央に車線変更する場合

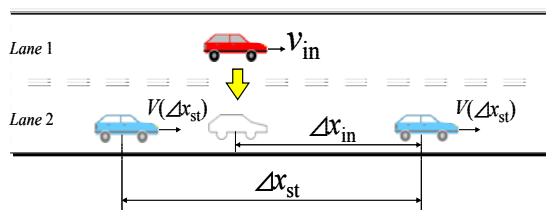


図 3. 前方車間距離を任意に設定する場合

図 2 では第二車線の車間距離の中央に車を進入させる. この車線変更した車と第二車線の前後を走行する車の挙動を調べる. 車線変更する車のレーン方向の走行速度(進入速度)  $V_{in}$  感度  $a$ , 第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}$  をパラメータ値として変化させて車の衝突に及ぼすこれらのパラメータ値の影響を調べる. 図 3 では車線変更直後の前方車間距離  $\Delta x_{in}$  を任意に設定して車を進入させる. 車線変更する車のレーン方向の走行速度  $V_{in}$ , 感度  $a$ , 車線変更直後の前方車間距離  $\Delta x_{in}$  をパラメータ値として変化させる。

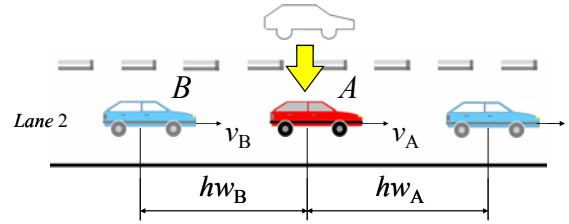


図 4. 車線変更直後の車の挙動

図 4 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直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. 安全距離  $x_c=4.0$  とし, 最大速度  $v_{\max}=2.0$  とする. 初期条件として定常状態における車間距離  $\Delta x_{st}$  で車を等間隔に配置する. 車の台数を  $n=25$  とし, 道路長は可変で  $L=\Delta x_{st} \times n$  で決定される. 本研究では一般性を持たせるために無次元化を行っている. 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[3]. 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り実際の場合に適用できる。

### 3.2 衝突-非衝突転移の領域マップ

第二車線(ターゲットレーン)の車間距離の中央に車を進入させる場合を考える(図 2). 縦軸を進入速度  $V_{in}$ , 横軸を第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}$  として感度  $a$  を一定にしたときの衝突-非衝突転移の領域マップを導出する. 図 5 に得られた領域マップ(相図)を示す.

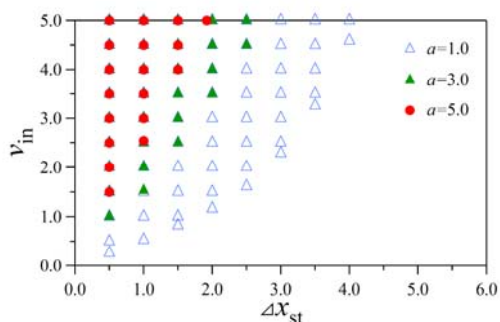


図 5. 中央に車線変更する場合の進入速度と車間距離の領域マップ

ここで  $\Delta$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\bullet$  は感度  $a=1.0, 3.0, 5.0$  に対して衝突が発生した点を表す. 図 5 より進入速度  $V_{in}$  が大きく車間距離  $\Delta x_{st}$  が小さいほど衝突が発生しやすく, 進入速度が小さく十分な車間距離がある場合には衝突は発生しない. 衝突-非衝突の転移点はプロット点の最下部を結ぶ境界である. 感度を高くするほど衝突が発生する領域は小さくなる. 図 6 に縦軸を感度  $a$ , 横軸を進入速度  $V_{in}$  として第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}$  を一定にしたときの衝突-非衝突転移の領域マップを示す.

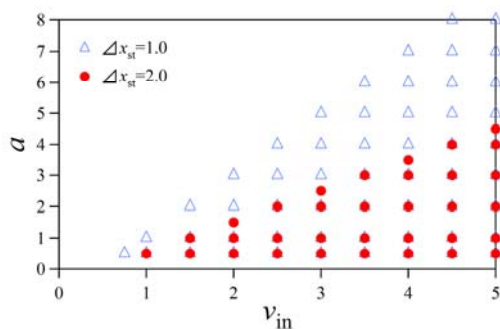


図 6. 中央に車線変更する場合の感度と進入速度の領域マップ

ここで  $\Delta$ ,  $\bullet$  は第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}=1.0, 2.0$  に対して衝突が発生した点を表す. 図 6 より感度  $a$  が小さく進入速度  $V_{in}$  が大きいほど衝突が発生しやすく, 感度  $a$  が大きく進入速度  $V_{in}$  が小さければ衝突は発生しない. 衝突-非衝突の転移点はプロット点の最上部を結ぶ境界である. 第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}$  が大きいほど衝突が発生する領域は小さくなる. 次に, 車線変更直後の前方車間距離  $\Delta x_{in}$  を任意に設定して車を進入させた場合を考える(図 3). 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  $\Delta x_{in}$  とする. 第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}=4.0$  とし, 感度  $a$  を一定にしたときの衝突-非衝突転移の領域マップを導出する. 図 7 に得られた領域マップを示す.

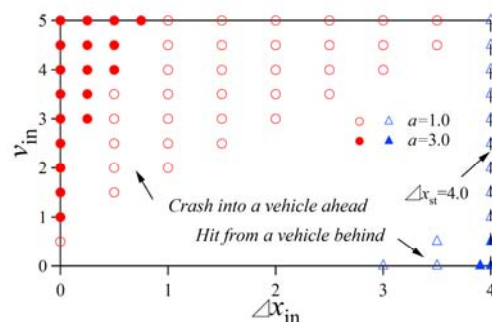


図 7. 前方車間距離を任意に設定する場合の進入速度と前方車間距離の領域マップ

ここで  $\circ$ ,  $\bullet$  は感度  $a=1.0, 3.0$  で前走車に衝突した点を表す.  $\Delta$ ,  $\blacktriangle$  は感度  $a=1.0, 3.0$  で後続車に追突された点を表す. 第二車線の車間距離の中央に車を進入させた場合と比較すると第二車線の後続車に近い位置で車線変更するとき, 後続車に追突される領域が存在する. 図 7 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  $\Delta x_{in}$  が小さい領域では前走車に衝突し, 進入速度  $V_{in}$  が小さく車線変更直後の前方車間距離  $\Delta x_{in}$  が大きい領域では後続車に追突される. 衝突-非衝突の転移点はプロット点の最下部を結ぶ境界とプロット点の最上部を結ぶ境界である. 感度を高くするほど衝突が発生する領域は小さくなる.

### 3.3 車線変更直後の車の挙動

車線変更直後の前後を走行する車との車間距離と速度をプロットして車の挙動を調べる(図4). 第二車線の車間距離の中央に車を進入させる. 図8に感度  $a=1.0$ , 進入速度  $V_{in}=5.0$  第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}=3.0$  としたときの車間距離-速度線図を示す.

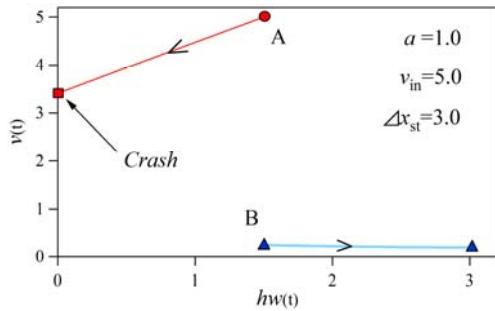


図8. 衝突時の車間距離-速度線図

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車は減速しながら前走車に追いつき, ■で衝突する. 図9に感度  $a=1.0$  進入速度  $V_{in}=3.0$ , 第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}=5.0$  とした車間距離-速度線図を示す.

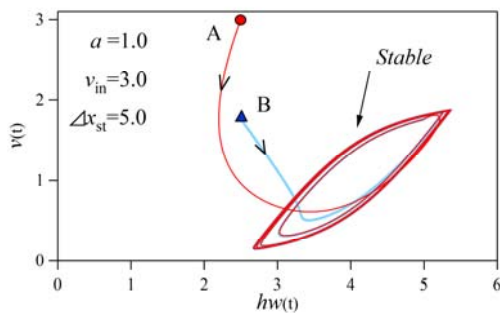


図9. 非衝突時の車間距離-速度線図

車線変更した車は進入速度が小さく車間距離が大きいため前走車に衝突せずに定常状態のリミットサイクルに至る. 図10に感度  $a=3.0$  進入速度  $V_{in}=3.0$ , 第二車線の定常状態の車間距離  $\Delta x_{st}=5.0$  とした車間距離-速度線図を示す.

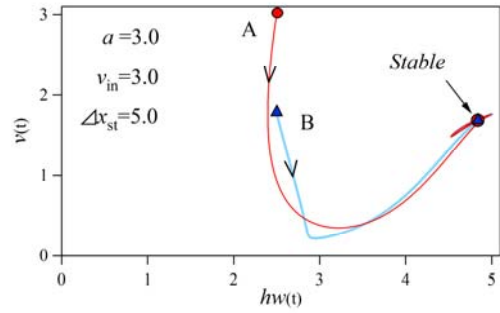


図10. 非衝突時の車間距離-速度線図

車線変更した車は進入速度が小さく車間距離が大きいため前走車に衝突せず●, ▲で速度と車間距離が一定の定常状態に至る. 感度が高いため定常状態において Stop-and-go wave は発生せずに一点に収束する.

## 4 結言

最適速度モデルを用いて車線変更する車の挙動と衝突-非衝突転移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.

- 車線変更時に車が衝突するかどうかは車線変更する車の速度, 感度, ターゲットレーンの車間距離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-非衝突転移の領域マップを導出した.
- 前方車間距離を任意に設定して車線変更させたとき, 車を進入させる位置と進入速度によって前走車への衝突または後続車からの追突が発生することを明らかにし, その衝突-非衝突転移の領域マップを導出した.
- 車線変更直後の前後の車との車間距離と速度をプロットすることによって衝突時非衝突時の車の挙動を明らかにした.

## 参考文献

- [1] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, Phys. Rev. E **51** (1995) 1035
- [2] S. Masukura, T. Nagatani, K. Tanaka and H. Hanaura, Physica A **379** (2007) 263
- [3] 増倉秀一, 田中克典, 長谷隆: 低速車によって誘起された交通渋滞と流量解析, ながれ, 第27巻, 3号 (2008) 251-258