二車線交通流の徐行区間によって発生する交通渋滞特性

端浦宏俊、田中克典、長谷隆
静岡大学工学部機械工学科

概要

一車線最適速度モデルにレーン変更ルールを加えた二車線最適速度モデルを使って、二車線道路の速度制限区間によって発生する渋滞現象について研究する．交通渋滞が生じる条件、場所並びに渋滞長さをシミュレーションによって明らかにする．また簡単な理論解析結果との比較も行う．

Traffic jams induced by slowdown sections on two-lane highway

Hirotoshi Hanaura, Katsunori Tanaka, Takashi Nagatani
Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

Abstract

We study the traffic jams induced by slowdown sections on two-lane highway, by using the optimal-velocity model with lane-changing rule. We clarify the dependence of jam's occurrence and jam's length on the slowdown. We compare the simulation result with the theoretical result.

1. 緒言

交通渋滞は日常生活や経済に大きな損失をもたらし、近年では大気汚染や地球温暖化など環境への影響もクローズアップされている．渋滞現象の原因と発生を予測し，渋滞を回避することが重要である．本研究では，道路上に様々な原因によって速度制限が設けられた際に生じる渋滞現象について数値シミュレーションを行う．1 車線道路の徐行区間よって発生する交通渋滞の特性を踏まえ，2 車線道路の徐行区間によって発生する交通渋滞を研究する．また簡単な理論解析を行い、渋滞の発生場所やその長さを予測する．

2. 計算モデルとシミュレーション

2.1. 計算モデル

道路の一部に徐行区間をもつような高速道路を想定する．図 1 に 1 車線高速道路に徐行区間を導入したモデルを示す．図 2 に 2 車線高速道路に徐行区間を導入したモデルを示す．車の運動は最適速度交通モデルによって記述する．最適速度交通モデルは車 n について式(1)で表される．

$$\frac{d^2 x_n}{dt^2} = a\left\{V\left(\Delta x_n\right) - \frac{dx_n}{dt}\right\} \qquad (1)$$

ここで，$V(x_n)$ は最適速度関数，$x_n(t)$ は時間 t

における車tの位置，$\Delta x_n(t)$は時間tにおける車nの前方車間距離，aは感度で遅れ時間の逆数ある. 本研究では通常区間に対して以下の最適速度関数を用いる.

$$V(\Delta x_n) = \frac{v_{f,\max}}{2}\left[\tanh\left(\Delta x_n - x_{f,c}\right) + \tanh(x_{f,c})\right] \quad (2)$$

また徐行区間に対しては以下の最適速度関数を適用する.

$$V(\Delta x_n) = \frac{v_{s,\max}}{2}\left[\tanh\left(\Delta x_n - x_{s,c}\right) + \tanh(x_{s,c})\right] \quad (3)$$

車線変更

車線変更動機　$(\Delta x_i < 2.0 x_{ci})$

安全条件　$(\Delta x_{fi} > x_i)\ and\ (\Delta x_{bi} > x_{ci})$

x_{ci}はｉ番目の車の安全距離，Δx_{fi}はｉ番目の車の前方車間距離，Δx_{bi}はｉ番目の車の車線変更したい車線の後方の車間距離. 動機，安全条件ともに満たしたときに車線変更をする. モデルを図３に示す.

2.2.　シミュレーション

数値シミュレーションをする際に用いる初期条件を以下のように設定する．N台の車を等間隔x_0に並べ，１車線道路では長さ$L = N \times x_0$の追い越しなしの道路を走るとし，２車線道路では長さ$L = N/2 \times x_0$の道路を走るものとした. 道路の両端を周期境界条件とする．式(2)の最適速度関数を用いて式(1)を４次の Runge-Kutta 法によりシミュレーションを行う. 渋滞の長さは徐行区間の直前から渋滞の最後尾にいる車両までの長さを道路の全長Lで無次元化した.

また，感度は臨界感度より高い感度を調べることによって､自然渋滞が起こらない条件下で，徐行区間のみの影響を考えることができる.

3.　一車線道路における交通渋滞特性

図４に１車線道路の下流半分に徐行区間を設定した流量を示す. 低密度な部分では流量は密度に比例的に増加する. 流量が徐行区間の最大流量に達すると飽和する. さらに密度が上昇すると流量は減少する.

流量が飽和している領域では徐行区間の直前に渋滞が発生する. 渋滞が発生している状態の車間距離分布を図５に示す. この領域では渋滞の外，徐行区間の内部，渋滞の中の車間距離は徐行区間の最大流量と通常区間の交点 a,b,c(図 4)で決定される．徐行区間の手前の渋滞の長さを理論的に求められるように図 6 のように記号を決定する. 台数の保存則より以下の式を得られる.

$$l_J L = \frac{1}{\rho_c - \rho_a}\left\{L\rho - L_N \rho_a - L_S \rho_b\right\} \quad (4)$$

図 7 に全台数N=500,安全距離は$x_{f,c} = x_{s,c}$=3.0，通常区間の最大速度$v_{f,\max}$＝2.0，徐行区間の最大速度$v_{s,\max}$＝1.0 の時の渋滞の長さと式(4)との比較である．理論曲線と結果がよく一致している.

4.　二車線道路における交通渋滞特性

１車線道路における徐行区間の交通渋滞特性を踏まえ，２車線道路に適用する.

図 8 に下流半分に徐行区間を設定した流量図を示す. 全台数N=200,通常区間の最大速度$v_{f,\max}$＝2.0，徐行区間の最大速度$v_{s,\max}$＝1.0 徐行区間の内部の安全距離をx_{S1}=3.0, x_{S2}=4.5 とした. また通常区間の安全距離は$x_{f1} = x_{f2}$=3.0 である.

1 車線道路と同様に流量が飽和している領域では徐行区間の直前に渋滞が発生する. 渋滞が発生している状態の車間距離分布を図 9 に示す. この領域ではそれぞれの車線の渋滞の外, 徐行区間の内部, 渋滞の中の車間距離は走行しているLaneの徐行区間の最大流量と通常区間の交点で決定される．Lane1 では a1,b1,c1(図 10)，Lane2 では,a2,b2,c2(図 10)の値をとる．

式(4)から Lane1，Lane2 に発生する渋滞の長さが求められる．図 11 の結果から 2 車線の場合では 1 車線とは異なり, 個々の車線の理論曲線一致しない. これは車線ごとの渋滞の伸び方に違いがあるためである．図 12 は時間が十分経過した後で 1000time step 分の車線変更を示したものである. 車線変更は渋滞の最後尾でのみ発生している. 片側の車線で渋滞が伸びたとき車線変更によって渋滞の長さが同じになるように車線変更がおこる. 渋滞の最後尾以外の位置では密度が高く車線変更は起きない. このことを考慮に入れ式(4)を拡張する.

$$l_J L = \frac{1}{(\rho_{c1}+\rho_{c2})-(\rho_{a1}+\rho_{a2})}\left\{\begin{array}{l} 2L\rho - L_N(\rho_{a1}+\rho_{a2}) \\ \qquad - L_S(\rho_{b1}+\rho_{b2}) \end{array}\right\} \tag{5}$$

図 11 において式(5)の理論曲線と結果がよく一致していることがわかる.

5.　結論

2 車線交通流の徐行区間によって発生する交通渋滞に関する数値シミュレーションを行い, 以下の結論を得た.

- 徐行区間によって発生する交通渋滞の前後の車間距離と徐行区間の内部の車間距離を理論的に求めた.
- 1 車線交通流の徐行区間による渋滞の長さの理論を 2 車線交通流に拡張した.
- 2 車線交通流の異なる強さの徐行区間の組み合わせによって発生する渋滞の長さを理論的に求めた.

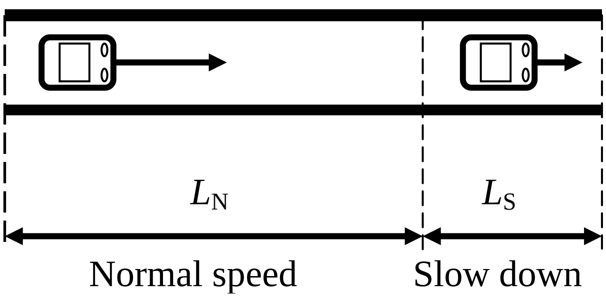

Fig.1

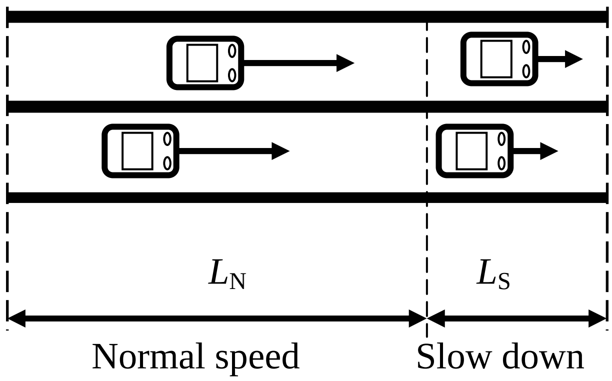

Fig.2

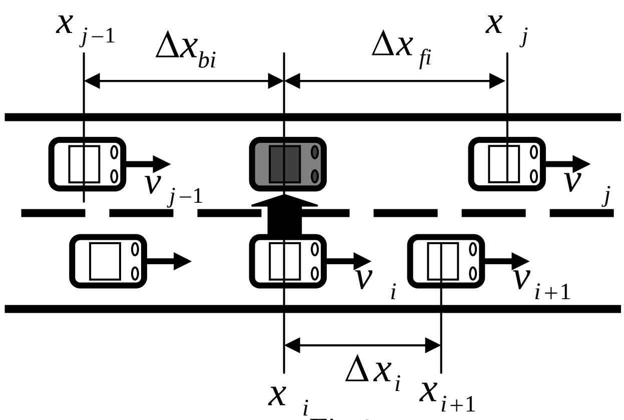

Fig.3

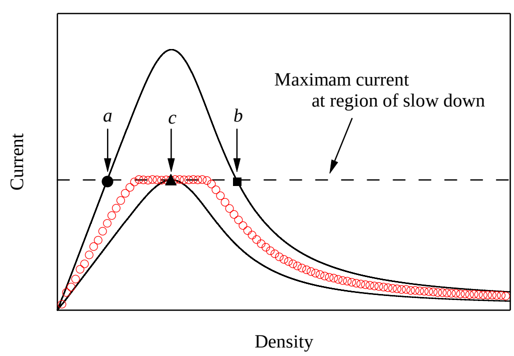

Fig.4

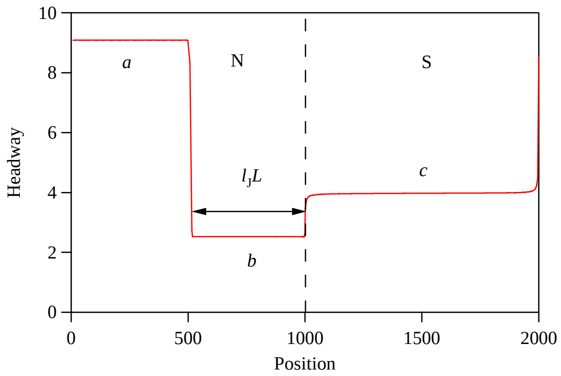

Fig.5

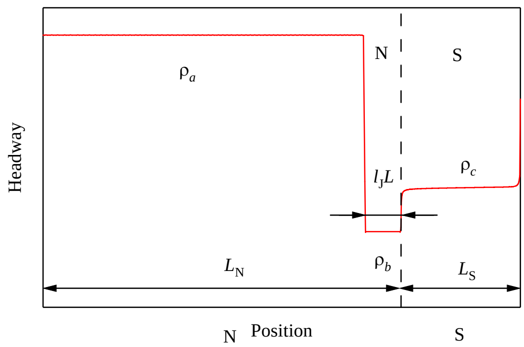

Fig.6

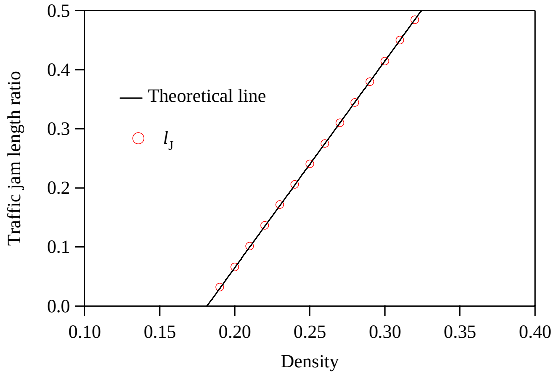

Fig.7

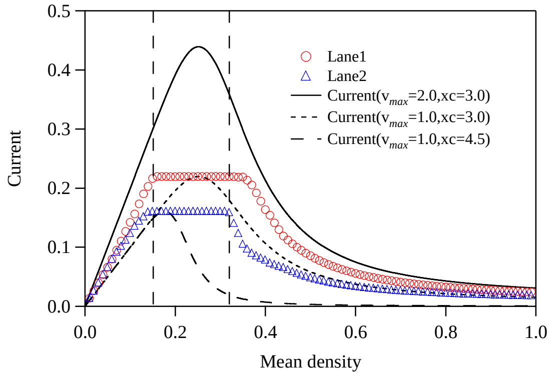

Fig.8

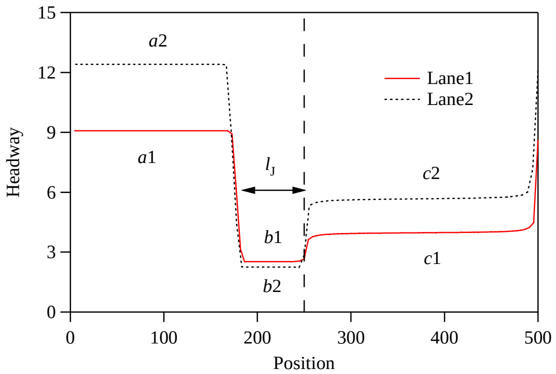

Fig.9

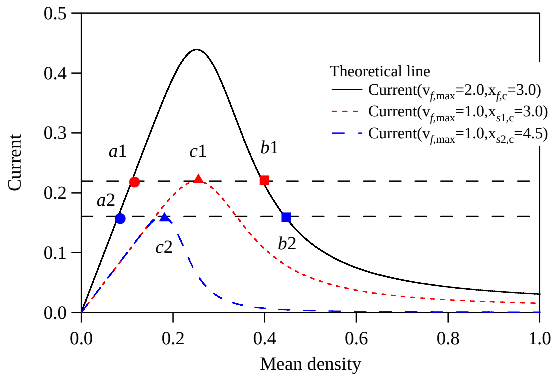

Fig.10

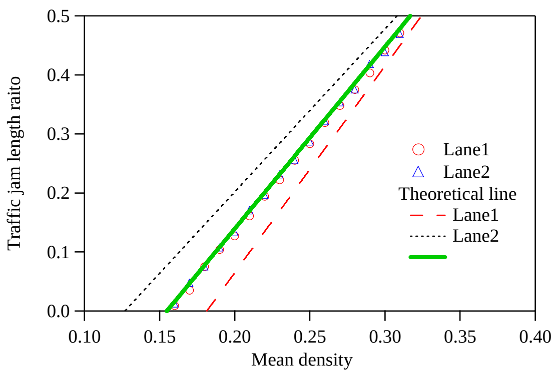

Fig.11

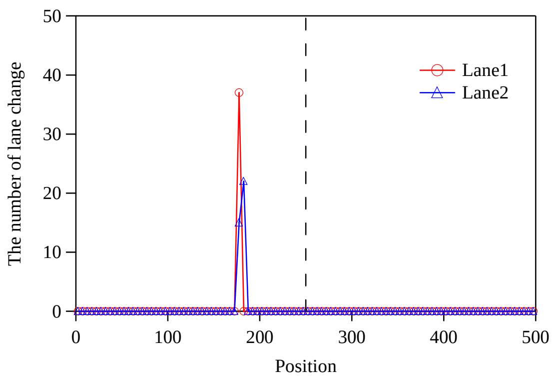

Fig.12