高感度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

複数の速度制限区間によって発生する渋滞現象について、最適速度モデルを使って研究する．交通渋滞が生じる場所や条件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．また理論解析結果との比較を行う．

Traffic jams induced by slowdown sections in high-sensitivity traffic

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

Abstract

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

1.　緒言

道路交通システムは，産業・生活の重要な基盤である．しかし，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最適速度交通モデルを用いて，数値シミュレーションを行う．複数の速度制限区間によって交通渋滞がどこで、どのように発生し成長するかを研究する．また簡単な理論解析を行い、渋滞の発生場所や長さを予測する．

2.　計算モデルとシミュレーション結果

一つあるいは二つの徐行区間をもつような高速道路を想定する．図１に徐行区間が１個の場合，図２に徐行区間が２個の場合のモデルを示す．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 について次式で表される．

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

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．本論文では通常区間に

対して以下の最適速度関数を用いる．

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

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．

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

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，長さ $L = N \times x_0$ の追い越しなしの１車線の道路を走るとし，道路の両端を周期境界条件とする．その道路において，任意の位置を徐行区間とし，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．シミュレーションに用いるパラメーター値は，車の台数 N ＝500，時間刻み $\Delta t = 1/128$ とする．最適速度関数に用いる安全距離は x_c =3.0，最大速度は $v_{f,\max}$ ＝2.0 とした. また徐行区間での最大速度は $v_{s,\max}$ ＝1.0 とした. 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．

複数の徐行区間の制限速度が同じ場合、交通渋滞がどこでどのように発生するかを十分高感度の状態で調べる．高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．また二つの徐行区間において制限速度が異なる場合についても調べる．

まず，徐行区間の制限速度が同じ場合の交通渋滞を考える．徐行区間が 2 個で L_{N1}=L_{N2}，L_{S1}= L_{S2}の場合のシミュレーション結果について示す． L_{S1}+L_{S2}＝0.5Lの場合の流量図を図 3 に，比較のための徐行区間の長さL_S＝0.5Lについても示す．十分に高感度の場合について流量は徐行区間の全体の長さに依存していることがわかる．初期密度 ρ＝0.25 の車間距離分布, 速度分布を図 4，図 5 に示す．渋滞の伸びについて図 6 に示す.車間距離はそれぞれ徐行区間の最大流量と通常区間の理論流量曲線の交点での密度の車間距離に対応している(図 7)．また徐行区間が 2 個でL_{N1}>L_{N2}，L_{S1}= L_{S2}渋滞の伸びについて図 8 に示す.密度の増加とともにl_{J1}のみに渋滞が成長している状態からl_{J2}に渋滞が発生する．l_{J2}に渋滞が発生するとl_{J1}の傾きに変化がみられる．さらにl_{J1} +l_{J2}は渋滞が発生する密度領域で一定の伸びを示していることが分かる．十分に高感度の領域では渋滞の伸びは理論渋滞長さに一致する．それぞれの徐行区間に発生した全体の渋滞の長さが一定になっていることがわかる．

次に制限速度が異なるときの交通渋滞を考える. 初期密度 ρ＝0.16，ρ＝0.25，ρ＝0.33 の車間距離分布, を図 9, 図 10, 図 11 に示す，また渋滞の伸びについて図 13 示す．十分に時間が経過した時は，渋滞は最も強い徐行区間である S2 のみに存在して成長している様子がわかる．また N1，N2 では渋滞は同じ傾きで伸びている．S1 では弱い徐行区間内で渋滞が伸びているため，渋滞の伸び具合が変化している．このときの渋滞の伸び方を図 12 に示す．このとき車両がとる車間距離は最も強い徐行区間の最大流量と通常区間の理論流

量曲線の交点，弱い徐行区間の理論流量曲線での交点の車間距離に対応している．

3. 結言

複数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．

- 徐行区間の強さが同じ場合には，徐行区間の手前の区間と徐行区間を足し合わせた長さが長いほうの渋滞の成長が早い．また$l_{J1}+l_{J2}$の渋滞の伸びの傾きが一定なることを示した．このとき理論の渋滞の伸びはそれぞれの密度とその長さの関係より

$$N = L \times \rho = (L_{S1}+L_{S2})\rho_c + (l_{J1}+l_{J2})L\rho_b + \left\{L-(l_{J1}+l_{J2})L-(L_{S1}+L_{S2})\right\}\rho_a$$

と考えられる．この式を整理すると

$$(l_{J1}+l_{J2})L = \frac{1}{\rho_c-\rho_a}\left\{\begin{array}{l} L\rho-(L_{N1}+L_{N2})\rho_a \\ -(L_{S1}+L_{S2})\rho_b \end{array}\right\}$$

徐行区間の強さが同じ場合には，徐行区間が３個以上の場合でも２個の場合と同様に全体の渋滞の伸びは一定の傾きになることを示した．

- 複数の徐行区間の強さが異なる場合には，最も強い徐行区間で渋滞が発生することを示した．

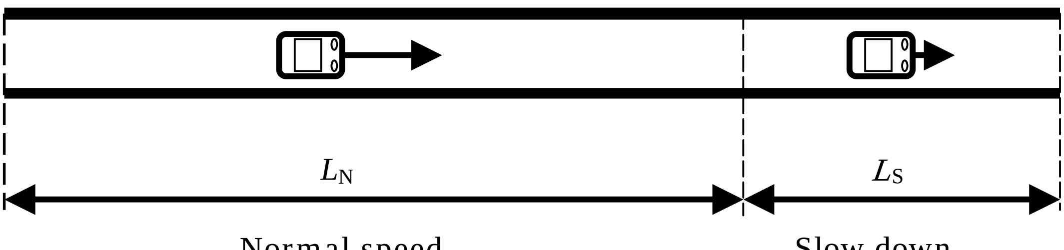

図 1

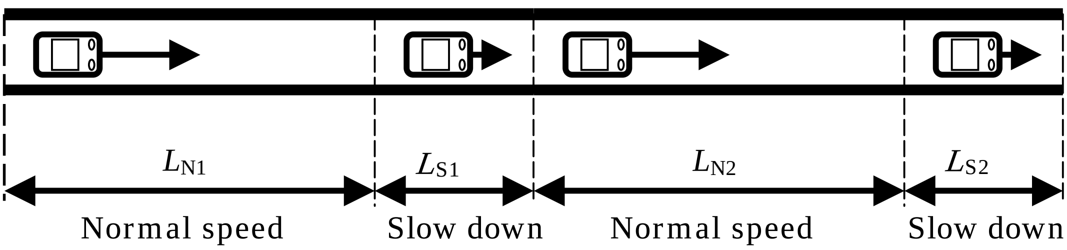

図 2

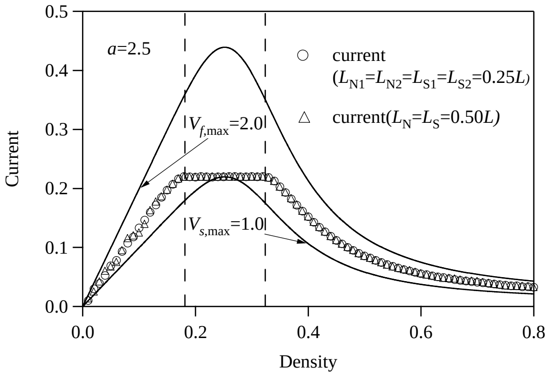

図 3

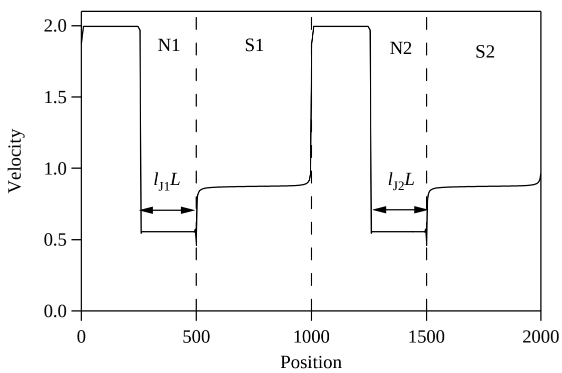

図 4

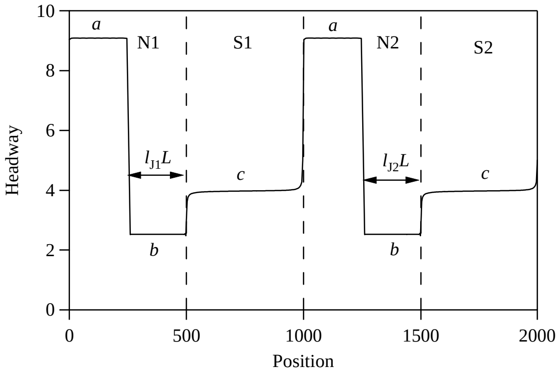

図 5

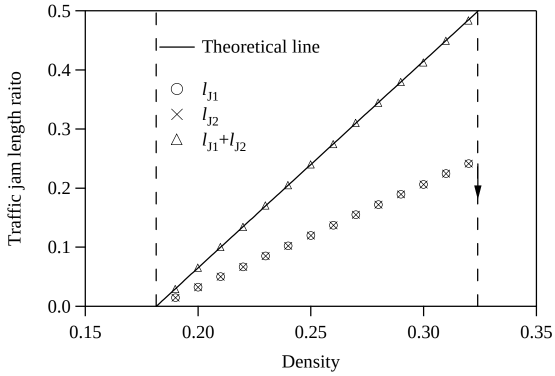

図 6

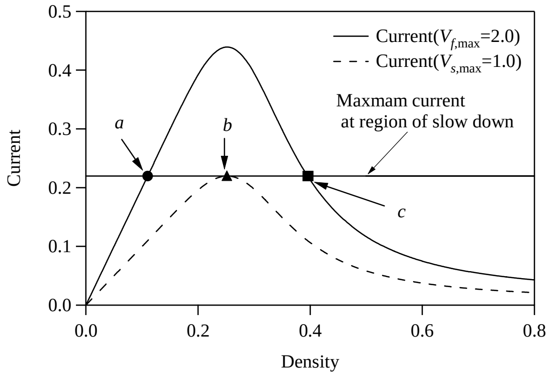

図 7

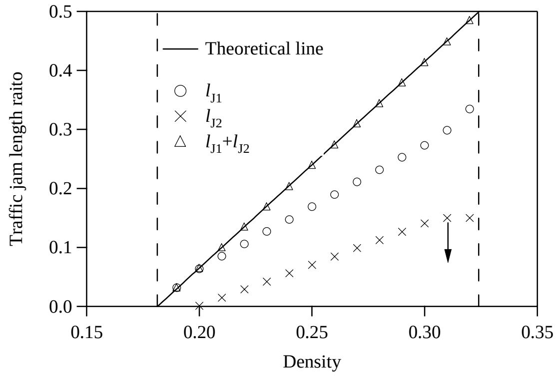

図 8

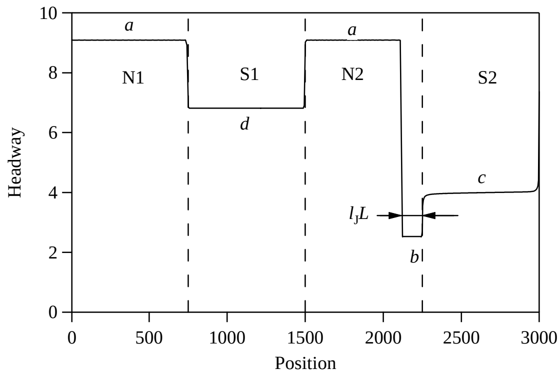

図 9

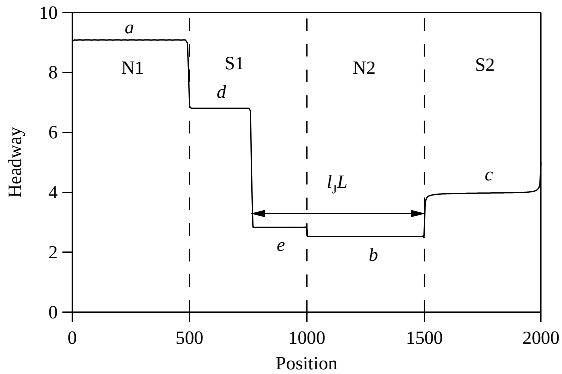

図 10

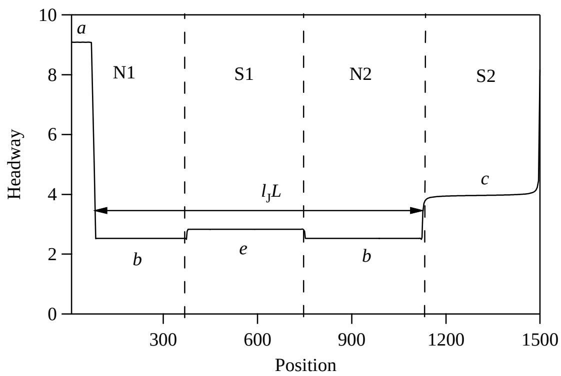

図 11

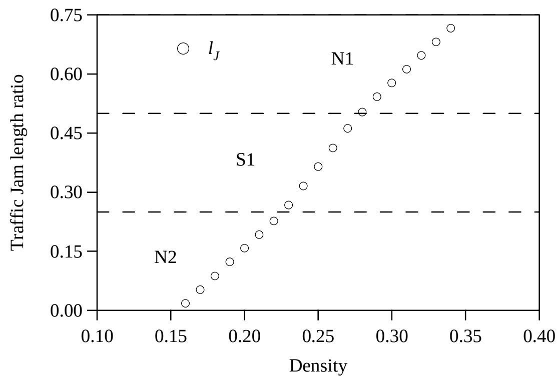

図 12