Japan Society of Fluid Mechanics

反応時間関数を導入した交通流モデル
Introduction of Reaction-Time Function for Traffic Flow Model

○友枝 明保, 明治大学先端数理科学インスティテュート・東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻,
神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1, E-mail: atom@isc.meiji.ac.jp
社本 大輔, 東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻, 東京都目黒区駒場 4-6-1
西 遼佑, 東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻, 東京都目黒区駒場 4-6-1
大塚 一路, 東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻, 東京都目黒区駒場 4-6-1
西成 活裕, 先端科学技術研究センター・(独) 科学技術振興機構さきがけ, 東京都目黒区駒場 4-6-1

Akiyasu TOMOEDA, Meiji Institute for Advanced Study of Mathematical Sciences (MIMS), Meiji Univeristy and University of Tokyo, 1-1-1 Higashi Mita, Tama-ku, Kawasaki, Kanagawa, 214-8571, Japan
Daisuke SHAMOTO, Unievrsity of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904, Japan
Ryosuke NISHI, Unievrsity of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904, Japan
Kazumichi OHTSUKA, Unievrsity of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904, Japan
Katsuhiro NISHINARI, Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo and PRESTO, Japan Science and Technology Corporation, Komaba 4-6-1, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904, Japan

本稿では，実測に基づくドライバーの反応時間を考慮した一次元交通流モデルを提案する．この新しい数理モデルでは反応時間が密度依存の関数として導入されており，Payne モデルの一般化となっている．この数理モデルに対する線形安定性解析から交通流ダイナミクスの本質である一様流不安定性の存在を示すことができた．さらに，弱非線形解析によって，微小擾乱に対する非線形飽和条件を導出することにも成功したので報告する．

1. 実測に基づく反応度関数を導入した交通流モデル

本研究では，まず高速道路における追従実験を行った．

追従実験における時系列データから車の速度によって二つの領域 (自由走行相，渋滞相) に分割する．追従実験の時系列速度データから数理モデルにおける反応時間を見積もるために，反応時間をドライバーの振る舞いにおける微小遅れ時間として考える．そこで，この微小遅れ時間を見積もるために，各車同士の相関係数を考える．

$$r_{i+1}(\tau) = \langle v_i(t) v_{i+1}(t+\tau) \rangle_t \tag{1}$$

各 τ に対して式 (1) を計算し，相関係数をプロットしたものが Fig. 1 である．Fig. 1 を見ると，相関係数の値のピークが道路状況によって変化していることがわかる．具体的に言うと，密度が大きくなる (道路が混んでくる) に従って，ドライバーは追突を避けるために運転に集中し反応時間が速くなると考えられる．以上のことから，従来の Payne モデルで正定数として扱われていた反応時間というパラメーター τ が道路状況によって変化する変数となっていることがわかる．そこで，道路状況を表す自然な引数として $\rho(x,t)$ を考え，定数の τ を ρ を導入した変数

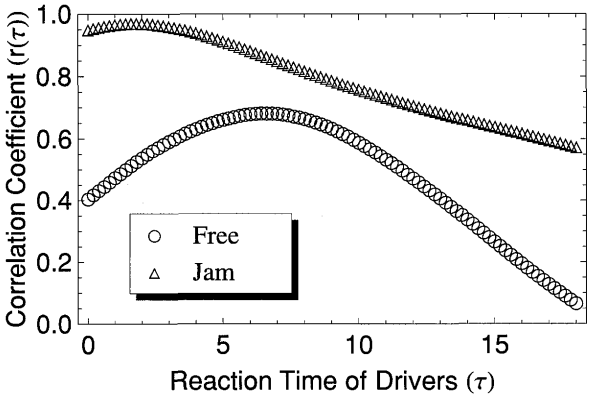

Fig. 1 The plots of correlation coefficient based on (1) for given each reaction time (τ).

$\tau(\rho)$ へと拡張し，以下のように新しい流体モデルとしてを提案する．

Expanded Payne model

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) = 0, \tag{2}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{\tau(\rho)}\Big(V_{\mathrm{opt}}(\rho) - v\Big) + \frac{1}{2\rho\tau(\rho)}\frac{dV_{\mathrm{opt}}(\rho)}{d\rho}\frac{\partial \rho}{\partial x}. \tag{3}$$

2. 理論解析

2.1 弱非線形解析

非線形効果をみるために逓減摂動法を用いた弱非線形解析を行う．一次と二次の摂動量を考慮した時間発展方程式全体の拡散項は

$$\Big(P - \varepsilon Q\Phi\Big)\frac{\partial^2 \Phi}{\partial X^2}. \tag{4}$$

と表わされる．各々の値の場合分けによって非線形飽和の条件が存在することが分かり，各条件に関する擾乱の時間発展を以下の表に示す．

P	Q	$P-\varepsilon Q\Phi$	Time evolution
(Linear unstable) P<0	Q<0	$P-\varepsilon Q\Phi>0$	Saturation
		$P-\varepsilon Q\Phi<0$	Amplification
	Q>0	$P-\varepsilon Q\Phi<0$	Amplification
(Linear stable) P>0	Q<0	$P-\varepsilon Q\Phi>0$	Damping
	Q>0	$P-\varepsilon Q\Phi>0$	Damping
		$P-\varepsilon Q\Phi<0$	Amplification

Table. 1 Classification table based on the coefficient of diffusion term.

3. 結論

本稿では，実測データに基づいてドライバーの反応時間を密度依存関数 $\tau(\rho)$ とし，拡張 Payne モデルとして新しい交通流モデルを構築した．逓減摂動法を用いた弱非線形解析によって，従来の Payne モデルでは起こり得なかった非線形飽和による安定化の条件が存在することを理論的に示すことができた．

NII-Electronic Library Service