

2車線交通流における車線変更の現象論

大阪国際大学経営情報学部

中井 哲夫

nakai@mis.oiu.ac.jp

1 はじめに

個々の車の動きを力学的に取り扱う交通流の数値モデルとして、従来から追従モデル (Car-Following Model) が提案されてきた¹⁾。最近、この動力学モデルを改良した最適速度モデル (Optimal Velocity Model: OVM) が提案されている²⁾。このモデルでは、車間距離の関数である最適速度を導入しているが、これを用いると自然渋滞の発生メカニズムが系の運動方程式のリミット・サイクル解として説明できる。ここでは、車間距離の分布の安定性が重要なものとなっている。車線変更は車間距離の分布に大きな変化をもたらすので、このようなモデルを2車線交通流の場合に適用してみることは大変興味ある問題となる³⁾。

ここでは、車線変更を現実的に扱う現象論的モデルを提案し、OVMを拡張して、車線変更が可能な2車線交通流のシミュレーションに適用する。また数値計算の分析から、車線変更がリミット・サイクル解に及ぼす影響について考察する。

2 最適速度モデル

ここで用いる OVM では、車群の運動方程式は次のように与えられる。

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

ここで、 $n = 1, 2, \dots, N$ は車両番号で、 N は車両総数である。 λ は運転者の応答率を表すが、ここでは簡単のため n に関係なく、1.0 に固定しておく。 x_n は車両番号が n の座標位置、 Δx_n は前方車両との車間距離 ($\Delta x_n = x_n - x_{n+1}$) である。また特に断らない限り車両の長さは 0 として扱う。

最適速度 $V(\Delta x)$ は、次のように与えられる。

$$V(\Delta x) = \frac{V_0}{2} \left\{ \tanh\left(\frac{\Delta x - x_c}{\delta}\right) + \tanh\left(\frac{x_c}{\delta}\right) \right\} \quad (2)$$

x_c は safety distance、 V_0 は最高速度、 δ は safety distance からの拡がりをそれぞれ与えるパラメータである。

通常用いられる手法に従い、方程式(1)に対して次のような周期的境界条件を用いる。

$$x_n(t) = x_n(t) \text{ mod } L \quad (3)$$

3 車線変更の現象論

われわれのモデルでは、片側2車線交通流での車線変更の現象を次のように扱う。

いま、ある車両 p の同レーン上の前方車両を $prev$ 、隣のレーンの p より前方で p に最も近い車両を $nearF$ 、 $nearF$ のすぐ後ろの車を $nearB$ として、次の量を計算する。

$$\Delta x_{prev} = x_{prev} - x_p \quad (4)$$

$$\Delta x_{nearF} = x_{nearF} - x_p \quad (5)$$

$$\Delta x_{nearB} = x_p - x_{nearB} \quad (6)$$

上式で、 x は各車両の時刻 t における座標である。

ここで、

$$\Delta x_{nearF} > \Delta x_{prev} \quad (7)$$

$$\Delta x_{nearF} > L_{stop} \quad (8)$$

$$\Delta x_{nearF} > L_{stopB} \quad (9)$$

が成立するとき、車両 p は車線変更を行うものとする。ここで、 L_{stop} はいわゆる停止距離(ブレーキを踏もうと思った瞬間から、完全に静止するまでに走る距離)で、一般には次のように、空走距離(第1項)、制動距離(第2項)、車両長(第3項)及び余裕補正距離(第4項)の和で表される。

$$L_{stop} = \frac{v}{\lambda} + \frac{3.6v}{3} + l + \epsilon \quad (10)$$

なお、第2項は、通常経験的に用いられている式である。

ここでは、(10)式をもう少し現象論的にした次の式を用いる。

$$L_{stop} = \gamma v + l_\epsilon \quad (11)$$

ここで、 γ , l_c は、速度 v に依らない定数とする。係数 γ は、(10)式では、2.2 程度の値である。また、 l_c は、本論文では、5.0 に固定しておく。(11)式を用いたシミュレーションの結果から、車線変更が行われる回数はパラメータ γ に強く依存することがわかる。定性的に言えば、 $\gamma = 2.0$ ではあまり車線変更が行われず、 $\gamma = 1.0$ ではかなり頻繁に車線変更が行われる場合に相当している。

尚、われわれは車線変更許可の条件として、上の(7)(8)(9)の他に次のような条件を設けている。車線変更可能な車両は、その合図(信号)を出し、シミュレーション回数が10回(約1秒)経過しても条件が満たされている場合に限り車線変更するものとする。また、前方車両がこの合図を出している場合には、車線変更できないものとする。これによって、現実的な車線変更をシミュレートでき、あまり現実的でない1レーン上の集団的な車線変更を回避することができる。

4 シミュレーション結果

各レーンの全車両が等間隔で等定速度で走行している状態は、方程式(1)の自明な解である。初期条件として、1車両だけが等間隔から僅かにずれた位置に停止している状態をとる。ただし、ズレのある位置は各レーンで異なるものとする。図1は、開始時Lレーン100台、Rレーン60台での、車線変更を考慮したシミュレーション結果を(Δx , v)の相空間図に表したものである。各レーンとも先頭車両の相図をシミュレーション打ち切り時($t = 2000$ sec)まで上書きプロットしている。車線変更回数が少ない $\gamma = 2.0$ のときは、Lレーンはリミット・サイクル解に、Rレーンは自明解に近づいている(図a)。これは車線変更を完全に禁止した場合の解にほとんど近いものである。これに対して、車線変更回数が多い $\gamma = 1.0$ のときは、L・Rレーンともにリミット・サイクル解になる(図b1)。これは、車線変更によって各レーンの車両密度が平均化され、その密度が1車線でのリミット・サイクル解へ導く値の範囲に入っているためと思われる。同様に、Rレーン30台の場合には、平均化された密度が小さいために両レーンとも自明解に近づいている(図b2)。

以上のことから、車線変更は各レーンの密度差による非一様性を平均化する効果をもつが、リミット・サイクル解による各レーン上の非一様性を自明な解にまで、平均化するには至らないことがわかる。ただし、パラメータ γ の値をもう少し広い範囲で変化させてシ

ミュレーションをさせてみると、車線変更は、定量的にリミット・サイクル解に、微妙な影響を与えていることがわかる。図2は、開始時L・Rレーンともに100台でのシミュレーションにおけるある時刻における渋滞域の空間的配置を示したものである。初期条件によってL/Rレーンの対称性は破られており、車線変更回数が少ない場合は、渋滞域のLRレーンのズレは長時間経過しても回復されないが(図2c)、車線変更回数が増多くなると(γ が1.0以下)、渋滞域の空間的配置は時間の経過とともにそろってくる(図2a, b)。特に γ が0.5以下の場合は、渋滞群の数が増加し(4から6へ)、逆に渋滞長は短くなる効果をもたらす(図2a)。このことから、頻繁な車線変更の存在は、初期条件やリミット・サイクル解によって生じた対称性の破れや非一様性を回復する効果をもっているものと思われる。

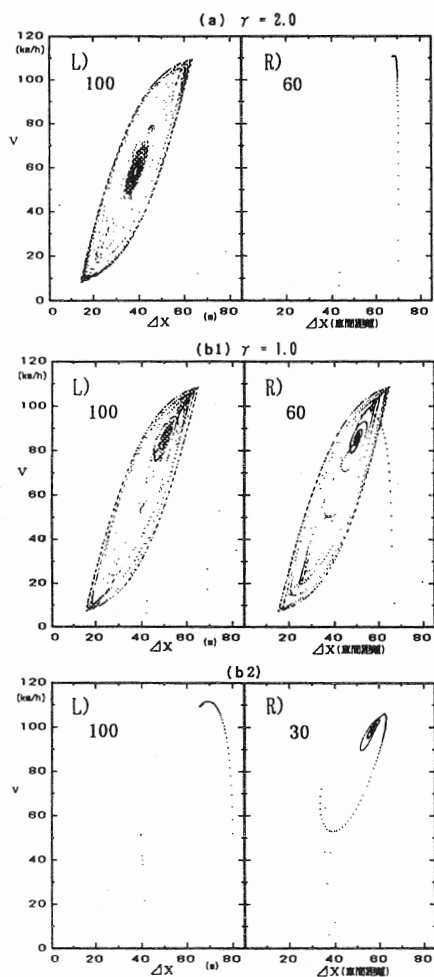


図1

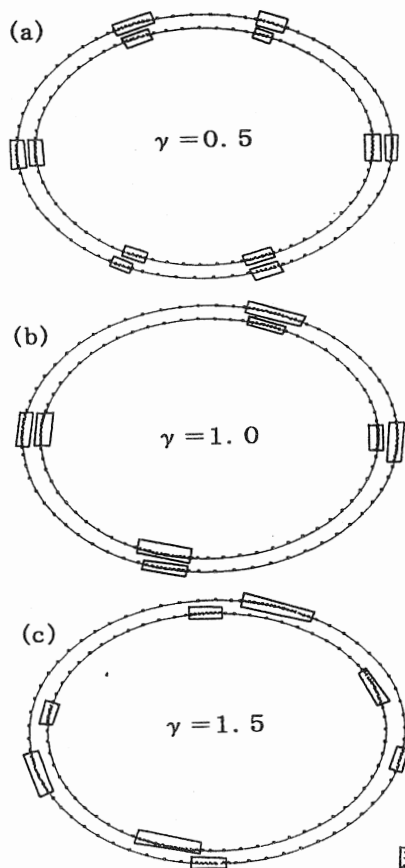


図2

参考文献

- [1] D. E. Wolf, M. Schreckenberg and A. Bachem, *Traffic and Granular Flow* (World Scientific, Singapore, 1996).
- [2] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, *Phys. Rev. E*, **51**, 1995, p1035.
- [3] 中井哲夫, 大阪国際大学紀要, 第9巻3号, 1997, p481.