

2車線路 CMOV 模型

佐賀大 理工学部 長尾 壮一郎
佐賀大 CNC 只木 進一
佐賀大 CNC 日永田 泰啓

1 始めに

自動車の流れ、特に交通渋滞は我々が日常的に体験する現象である。1990年代に入り幾つかの交通流模型が提案され、コンピュータシミュレーションが行われるようになったが、それらの多くは1車線系の模型であった。それに対し、実際的高速道路は2車線以上が普通である。実測される2車線系のデータとシミュレーション結果を比較するには2車線系でシミュレーションを行う必要がある。本稿では1車線系の交通流模型である結合写像型模型に車線変更の要素を加え、2車線系の模型を構築する。

2 2車線路に特有の現象

2車線路に特有な現象として、次の4つが知られている。

* 基本図における流量のピーク

観測地点を単位時間に通過した車両の数(流量) q と、通過した車両の速度の平均 \bar{v} から算出される密度 $\rho = q/\bar{v}$ と流量の関係を表す基本図において、追越車線には明確な頂点があるが、走行車線には無い。

* 追越車線側の流量が多くなる

日本の交通規則では、通常は走行車線を走り、追い越しにのみ追越車線を

走ることが許されている。しかし、流量が多くなると追越車線を走る車両の方が多くなる。

* 追越車線側が高密度、低速になる

渋滞時に、追越車線側が走行車線側よりも高密度、低速になる。

* 同期現象

流量や密度が上昇した際、2つの車線の速度や密度が接近する傾向がある。これについては、渋滞時には車線変更が困難になり、2つの車線がほぼ切り離されていることが原因であると考えられている。

3 交通流模型

3.1 CMOV 模型

結合写像型(CMOV)模型は、各車両の挙動を微分方程式で記述した追従(OV)模型を離散化したものである。CMOV模型は最適速度関数に基づき、各車両の速度及び位置は、一定の時間間隔 Δt で更新される(例: $\Delta t = 0.1$)。車両の位置 x と速度 v は、次の式で表される。

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t)\Delta t \quad (1)$$

$$v(t + \Delta t) = v(t) + A(t)\Delta t \quad (2)$$

加速度 $A(t)$ は、最適速度 $V(\Delta x)$ と現在の速度 $v(t)$ の差に比例したものとす。

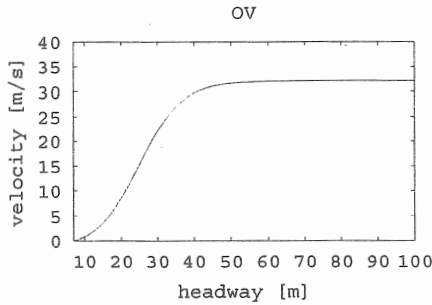


図 1: 最適速度関数の例。横軸が車頭距離、縦軸が速度。式 4 のパラメータに $v_{\max} = 33.6$ 、 $d = 25$ 、 $w = 23.3$ 、 $c_{\text{bias}} = 0.913$ を使用。

$$A(t) = \alpha(V(\Delta x) - v(t)) \quad (3)$$

ここで、 α は最適速度 V への調整の強さを表す感受率である (例: $\alpha = 2$)。 V は最適速度関数と呼ばれ、車間距離 (Δx) に応じた最適 (安全) な速度を表し、十分に車間距離が離れれば自由走行、つまり希望最高速度となり、車間距離がある程度小さくなると急激に減少をするような sigmoidal な関数である。観測値から、例えば

$$V(\Delta x) = \frac{v_{\max}}{2} \left[\tanh \left(2 \frac{\Delta x - d}{w} \right) + c_{\text{bias}} \right] \quad (4)$$

のような関数形で表される。 v_{\max} 、 d 、 w と c_{bias} の各パラメータは実際の観測データに基づいて決定することができる定数である。

このモデルは車両並びを柔軟に変更したり、車線変更をするなど、微分方程式での記述に馴染みにくい挙動を採り入れることが可能である。また、開放端を持つ系を構成し、密度をパラメータとせず流入量で制御

するような、より現実的なシミュレーションを行うのに適している。

3.2 2車線路 CMOV 模型

1車線系に比べ、2車線系での車両の挙動はあまりよく理解されていない。ここでは、単純で無理のない車線変更規則を CMOV 模型に取り入れる。

まず、直進と車線変更の規則を分けて記述する。ここで直進規則には1車線路 CMOV 模型を用いる。

次に車線変更規則である。車線変更挙動は、車線変更の要求と安全性の2つの要素に分けることができるだろう。まず、先行車両によって希望速度での走行を妨げられ、車線変更をした方が速く走行できるときに車線変更の要求が発生する。次に、変更先の車線に安全に入ることができる空間があることが必要である。この2つの条件が満たされたとき車線変更を行うことができる。

また、道路交通の法律は国によって異なるが、ここでは日本の規則に従って模型を構築する。

走行車線から追越車線への変更規則

1. 要求の発生

走行車線を速度 v で走行している車両を考える。先行車両が速度 v_0 で走行しており、この車両との車頭距離 Δx がある値 Δx_{safe} より小さい場合、その車両は車線変更の要求が発生する。

$$\text{例: } \Delta x_{\text{safe}} = d + \frac{w}{2}$$

2. 安全性の確認

追越車線を走行する車両で、自分の直後

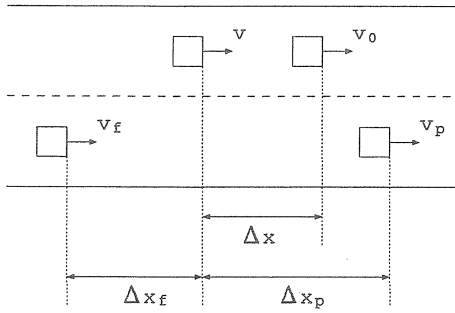


図 2: 車線変更の概念図。道路を真上から見た図で、正方形が車両を表し、車両は左から右に走行する。上側左の正方形が車線変更を行う車両である。 v は速度、 Δx は車頭距離を表す。

の者との車頭距離が十分 ($\Delta x_f > D(v)$) であれば車線変更が可能である。

$$\text{例: } D(v) = d + w \left(\frac{v}{v_{\max}} - \frac{1}{2} \right)$$

3. 車線変更

1,2 が満たされた場合、ある確率 P_{up} で車線変更を行う。

追越車線から走行車線への変更規則

1. 要求の発生

追越車線を速度 v で走行している車両を考える。走行車線を走る先行車両への車頭距離が十分 ($\Delta x_p > 5\Delta x_{safe}$) の場合と、走行車線を走った方が速い場合に車線変更の要求が発生する。 ($v_p > v_0$ かつ $\Delta x_p > \Delta x_{safe}$)

2. 安全性の確認

走行車線を走行する車両で、自分の直後の者との車頭距離が十分 ($\Delta x_f > D(v)$) であれば車線変更が可能である。

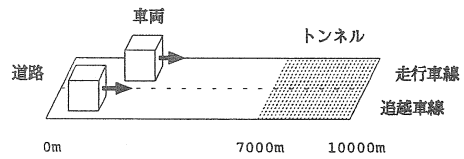


図 3: シミュレーションを行った系の概念図。7000m 地点から終端までがトンネルである、全長 10000m の 2 車線直線道路に次々と車両が流入する。トンネル内部では車両の目標速度が低く設定される。

3. 車線変更

1,2 が満たされた場合、ある確率 P_{down} で車線変更を行う。

4 シミュレーション

ボトルネックとしてトンネルを持つ、直線の 2 車線高速道路での渋滞形成について検証した。トンネル内では、視界が狭い・圧迫感を感じる等の理由から、普段の道路走行時に比べて減速して走行するのが一般である。ここではトンネル内での各車両の目標速度は次のように表す。

$$V_T = (1 - \mu)V(\Delta x) \quad (5)$$

μ は減速の強度を表すパラメータである。

系は開放端で長さを 10000m とし、トンネルは系の 6000m 地点から終端まで配置した。また、車両が系に流入可能な場合、速度 0、加速度 0 の車両を確率 P_{in} で流入させることとした。

以上の条件の下、系を幾つかの区間に区切り、ある車両の区間毎の挙動を調べた。

図 4 はある時刻での、走行車線を走行する車両の車頭距離の分布である。横軸は車両の位置、縦軸は車頭距離である。トンネ

ル内では車頭距離は等しくなり、一様流となっていることが分かる。トンネル直前では、車頭距離は一定だが、上流に行くにつれてずれが拡大している。これは渋滞が拡大していく様子と合致している。

図5,6はある区間での、走行車線を走行するある車両の車頭距離-速度平面の軌跡である。横軸は車頭距離、縦軸は速度である。図6は4000mから5000mの区間での観測で、この区間は低速な安定流と渋滞流の境目である。ここでは車両はトンネル直前の低速な安定点付近で軌跡を描いている。一方、図5は2000mから3000mの区間での観測で、この区間は渋滞流の区間である。ここでは車両は、はっきりと自由走行と渋滞中の走行を繰り返している。

以上がトンネル上流部での車両の挙動である。ボトルネック直前で発生した渋滞が、上流に向けて成長する様子が観測された。

5 終わりに

今回は密度が比較的低くなる場合に各車線をそれぞれ観測し、各車線で渋滞が発生する過程での、車両の振る舞いを観測した。その結果は1車線路 CMOV 模型での結果と合致するものだった。

しかし、2車線路に特有な現象は、高密度時の系の状態まで観測しなければ検証できない。よって次の段階として、密度が高くなる場合についても、シミュレーションを行うことが挙げられる。

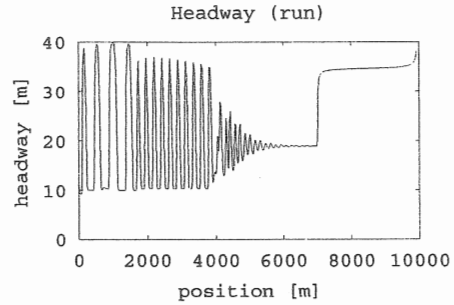


図4: 車頭距離の分布(走行車線)。横軸は車両の位置、縦軸は車両と前方車両との車頭距離。波線は2つ一組で内側がトンネル内での臨界車頭距離、外側がトンネル外での臨界車頭距離。

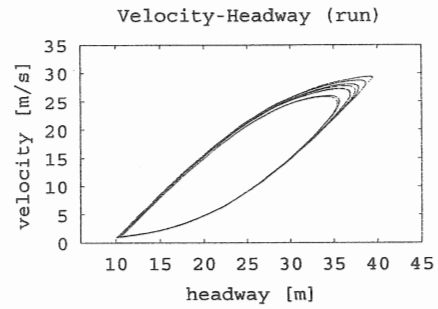


図5: 1台の車両の車頭距離-速度平面での軌跡(走行車線,2000mから3000mの区間)。横軸は車頭距離、縦軸は速度。

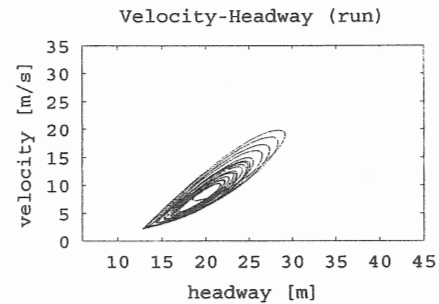


図6: 1台の車両の車頭距離-速度平面での軌跡(走行車線,4000mから5000mの区間)。横軸は車頭距離、縦軸は速度。