

トンネル上流の渋滞形成 - 2車線モデルと実測の比較 -

只木進一*、菊池誠†、杉山雄規‡、湯川論§

1 序論

一車線高速道路に関しては、これまでの数理モデルを使った研究で、基本的な性質が明らかになりつつある。更に理解を進めるためには、実測との比較が不可欠であるが、実際の高速道路の多くが二車線以上である。従って、二車線モデルの構築が必要となっている。

追従モデルの一つである最適速度 (OV) モデル [1] は、自由流から渋滞流への相転移を密度を変化させることで記述できるモデルである。我々は、OV モデルを離散化することによって、開放系などへ適用できる結合写像最適速度 (CMOV) モデルを提案してきた [2, 3]。

CMOV モデルにおいて、各車両は、先行車両との車頭距離 Δx によって決定される最適速度 V_{optimal} に速度を調整するように加原則を行う。従って、各車両の位置 x 及び速度 v は

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

$$v(t + \Delta t) = v(t) + \alpha (V_{\text{optimal}}(\Delta x) - v(t)) \Delta t. \quad (2)$$

に従って更新される。ここで α は感受率を表す。また時間ステップ Δt は固定であり、本研究では 0.1 秒である。

最適速度関数 V_{optimal} は、一般にはある制限下で自由に選択できるが、ここでは

$$V_{\text{optimal}}(\Delta x) = \frac{v_{\text{max}}}{2} \left[\tanh \left(2 \frac{\Delta x - d}{w} \right) + c_{\text{bias}} \right], \quad (3)$$

とする。パラメタ v_{max} 、 d 、 w 及び c_{bias} は実測との比較で決定することが出来る (表 1) [2, 4]。

本講演では、CMOV モデルに車線変更規則を導入し、トンネル上流の二車線系のシミュレーションを行うとともに、実測との比較を行う。

*佐賀大学学術情報処理センター

†大阪大学サイバーメディアセンター

‡三重短期大学

§東京大学工学部

表 1: Δt と Δx_{min} を除くパラメタは、中央高速での観測による。

parameter	value	(unit)
d	25.	m
w	23.3	m
v_{max}	33.6	m/sec
α	2.	sec ⁻¹
c_{bias}	0.913	
Δt	0.1	sec
Δx_{min}	7.02	m

2 車線変更規則の導入

最適速度モデルの離散化によって作られた結合写像最適速度モデルの利点の一つは、車両列を柔軟に変更することが可能な点である。その利点を生かすことで、車線変更などの現実的な挙動をモデルに導入することが可能となる。ここでは、確率的な車線変更を導入する。また、高速道路を想定しているの、走行車線が主として利用され、追い越し車線は追い越しにのみ利用されるような非対称的な車線変更規則を導入する。

車線変更規則の基本は次のようなものである。車両は、希望速度で走行出来ない場合に、車線を変更しようとする。ただし、車線変更をして、より速く走行できなければならない。また、車線変更が安全にできるように、変更先の車線に空きがなければならない。これらの条件が満たされた場合、確率的に車線変更が行われる。また、車線変更は、全ての車両に対して同期的に行うとする。

走行車線から追い越し車線への移動を図 1 に示す。注目している車両の車頭距離 Δx がある値 Δx_{safe} より短くなると、車両を変えたいと考える。しかし、車線を変えて、より速く走れなければ意味がない ($\Delta x < \Delta x_p$)。また、車線変更が安全でなければならない ($\Delta x >$

$V_{\text{optimal}}^{-1}(v)$ 。この条件がみたされたとき、車両は確率 P_{up} で追い越し車線へ移動する。

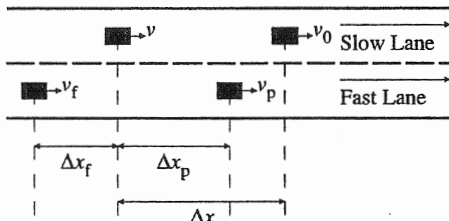


図 1: 追い越し車線への移動

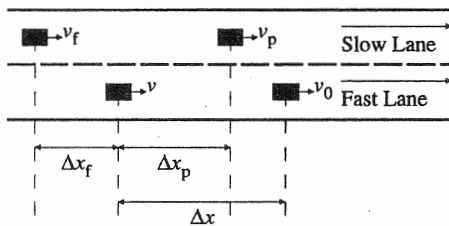


図 2: 走行車線への移動

追い越し車線へ戻る場合 (図 2) は、追い越し車線への移動と基本的に同じである。ただし、高速道路を想定しているために、車両は原則として走行車線を走るため、追い越し車線を走る車両は、走行車線に戻っても自由走行できる場合には、走行車線に戻る。つまり、 $\Delta x_p > \Delta x_{\text{max}}$ であり、かつ車線変更が安全 ($\Delta x > V_{\text{optimal}}^{-1}(v)$) である場合には、確率 1 で走行車線へ戻る。

3 Simulation

一車線の開放系では、ボトルネックが無い場合に、渋滞が起こらない [3]。これは二車線の場合でも同じである。本講演では、図 3 のように、二車線系の出口部分にボトルネックを設定した場合を考える。ボトルネック部では、トンネル部のように各車両の希望速度が $r < 1$ 倍になるとする。トンネルの効果を見るために、実測と同様にトンネル上流の観測点を通過する流量と平均速度を観測することにする。

二車線以上の高速道路の性質で特に興味深いのは、車線利用率の逆転現象である。上述のように、車線変

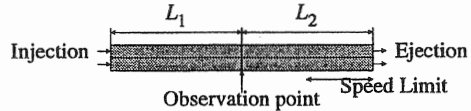


図 3: シミュレーションシステムの設定

更規則では、全ての車両が原則として走行車線を走ることが求められているにも関わらず、追い越し車線の流量が走行車線のそれを上回る現象である。

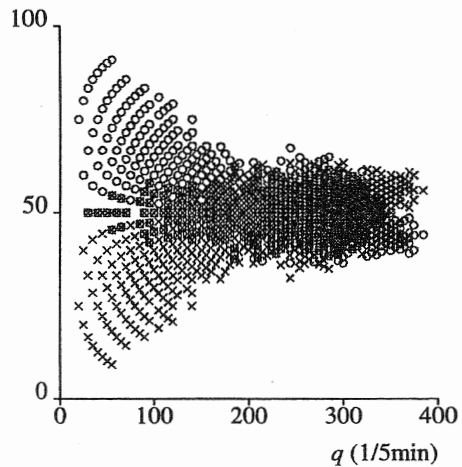


図 4: 流量の逆転現象

図 4 に、それぞれの車線の総流量 $q_{\text{fast}} + q_{\text{slow}}$ による利用率 r_i の変化を示す。

$$r_i = \frac{q_i}{q_{\text{fast}} + q_{\text{slow}}} \quad i \in (\text{fast}, \text{slow}) \quad (4)$$

流量が少ない場合には、走行車線の利用が多いが、流量の増大とともに利用率が逆転する様子が見える。

このシミュレーションにおいては、車両に希望速度 v_{max} は $\pm 20\%$ の範囲で一様分布している。希望速度の分布が無い場合には、このような利用率の逆転現象は発生しない。つまり、交通流の中の車両が、その個性に応じて利用する車線を選択している可能性がある。実際に、各車線上の車両の平均希望速度を調べると、流量が多い場合には、走行車線に遅い車両が、追い越し車線に速い車両が集まっている様子が見える (図 5)。

最後に、車線利用率の実測データを示す。図 6 は、東名高速道路上り線、日本坂 PA 付近の観測である。

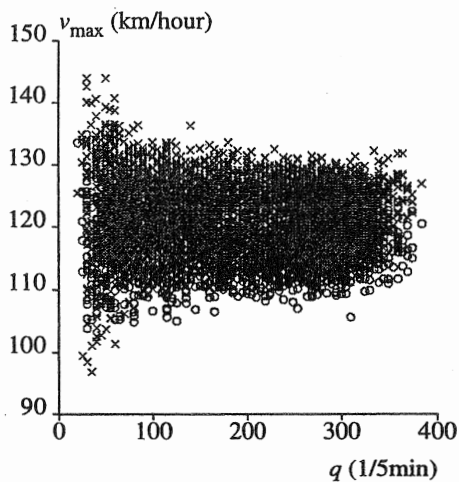


図 5: 流量に対する各車線上の車両の平均希望速度

参考文献

- [1] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, Phys. Rev. E51, 1035 (1995).
- [2] S. Tadaki, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa, J. Phys. Soc. Japan, 67, 2270 (1998).
- [3] S. Tadaki, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa, J. Phys. Soc. Japan, 68, 3110 (1999).
- [4] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, J. Phys. I (France) 5, 1389 (1995).

下流約 2Km には、日本坂トンネルがあり、ボトルネック上流に発生する渋滞を見ることができる。ここでも、流量の増大とともに、流量の逆転が観測され、シミュレーション結果を支持している。

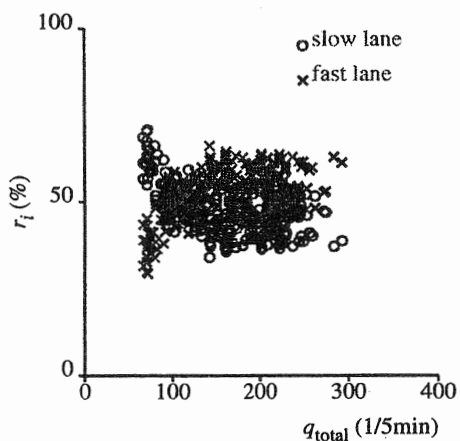


図 6: 車線利用率の実測 (東名高速道路上り、日本坂 PA、1996 年 8 月 2 日)