緩やかな減速を考慮した交通流
セルオートマトンモデルに関する研究

合原・鈴木・河野・小林研究室　修士 2 年　谷口洋平　指導教員　鈴木 秀幸 准教授

2011 年 2 月 2 日 (水)

1　はじめに

道路上の車の流れである交通流を理解する有効な手段の一つに，基本図による観測がある．図 1 では流量が密度の増加に比例して増加している部分と，密度が増加するにつれ流量がむしろ減少している部分がある．この部分がそれぞれ自由走行流領域と渋滞流領域として表されている部分である．また渋滞流領域は，車両速度が大きく揺らぐ synchronized flow 相と車両速度がかなり小さい wide moving jams 相の 2 つに分けられる．また渋滞が発生している車両密度のところにおいても自由走行流領域の直線が伸びており，これは渋滞流領域に遷移する直前のメタ安定状態と呼ばれているものである．

2　既存の交通流のモデル

2.1　VDR モデル

VDR(Velocity-Dependent-Randomization) モデル [2] は，交通流を表現できる非常に単純なモデルとして提案された NaSch(Nagel-Schreckenberg) モデル [1] を拡張したモデルである．車両の移動規則は以下のように記述される．

R0 $p = \begin{cases} p_0 & (v_n^t = 0) \\ p_d & (\text{otherwise}) \end{cases}$

R1 加減速:$v_n^{t+1} \leftarrow \min\left(v_n^t + 1, v_{\max}, d_n^t\right)$

R2 ランダムブレーキ:確率 p で $v_n^{t+1} \leftarrow \max\left(v_n^{t+1} - 1, 0\right)$

R3 移動:$x_n^{t+1} \leftarrow x_n^t + v_n^{t+1}$

ここで x_n^t, v_n^t はそれぞれ時刻 t における n 番目の車の位置と速度であり，d_n^t という変数は，前方の車両との車間距離，すなわち $x_{n+1}^t - x_n^t - 1$ である．このモデルではまず R1 の前において NaSch モデルでは一定であったランダムブレーキの値 p を車両の速度によって変えている．なお $p_0 > p_d$ である．これは一般のドライバーは停止から再加速する場合は走行中よりもしづらいことを表現している．また R3 では，確率を用いることで，衝突を避けることを強く意識するために，たまに過剰にブレーキを踏むことに対応している．図 2 は VDR モデルを用いたシミュレーションから作成した基本図である．図 2 から，自由走行流領域と渋滞流領域，メタ安定が再現できている．しかしこのモデルでは synchronized flow は再現できないことも知られている．

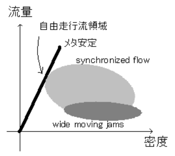

図 1: 高速道路の基本図でみられる特徴を表した図.

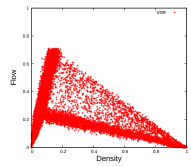

図 2: VDR モデルでの基本図.

2.2　BL モデル

BL(Brake Light) モデルは，前方の車を観察し，車間距離が狭まってきたら急ブレーキではなく徐々に減速していく運転方法を組み込んでいるモデルである．BL モデルは前述の VDR モデルと同じく，まずランダムブレーキの値 p をいくつにするか決定した後で速度を決定し，移動している．このモデルの重要な改良点はブレーキランプの効果をモデルに取り入れたことである．ドライバーが前方の車のブレーキランプが点灯していることをを確認し，それを見て自分も減速しようと思うほど車が近付いていたとき，車は加速をやめ，減速確率 p を高いものにしようと考えるようになっている．このブレーキランプの効果で，車は徐々に減速していくため，渋滞流が簡単に発生する事態を避けることができる．このモデルを用いると，車両は車間距離を保持しつつ速度を徐々に落とし，synchronized flow へと移行していく様子を再現することができる [3].

3 TA モデル

上で紹介した交通流を表現するモデルはいろいろな観点からドライバーの運転特性を決めてきたが，ここでは速度に対しての距離の値，すなわち時間を判断軸として加減速をすることに着目したモデルである (TA)Time Allowance モデルを提案する．従来のモデルではこの考え方をとりいれたものはほとんどないが，距離と同様，ドライバーが加減速をするのに大きな影響を与えている要素ではないかと考えられる．TA モデルは時間を保持することを軸に，自分の車の速度だけでなく，前方の車との相対速度も考えている．この考え方は，ドライバーが前方の車に追い付くまでの時間的余裕を一定水準確保したいと考えることに相当する．ここで言う余裕であるための時間とは，ドライバーが前方車両に追い付くまでにかかると思われる時間のことであり，その時間を保つことができれば，たとえ前の車が大きく減速しても，自分はそれを見て適切な反応ができる，という時間である．TA モデルの車両の移動規則は以下のように記述される．

R0 ランダムブレーキの決定:

$$p\left(d_n^t\right) = \begin{cases} p_0 & \left(d_n^{t-1} = 0\right) \\ p_d & \left(d_n^{t-1} > 0 \text{ and } v_n^t < v_{\max}\right) \\ p_s & \text{otherwise} \end{cases}$$

R1.1 余裕時間考慮:$v_n^{t+1} \leftarrow x_{n+1}^t + \lfloor \frac{d_n^t}{c} \rfloor$

R1.2 確率 $\frac{d_n^t}{c} - \lfloor \frac{d_n^t}{c} \rfloor$ で $v_n^{t+1} \leftarrow v_{n+1}^t + 1$

R2 加減速:$v_n^{t+1} \leftarrow \min\left(v_n^t + 1, d_n^t, v_n^{t+1}\right)$

R3 ランダムブレーキ:確率 p で $v_n^{t+1} \leftarrow \max\left(v_n^{t+1} - 1, 0\right)$

R4 移動:$x_n^{t+1} \leftarrow x_n^t + v_n^{t+1}$

このモデルは R0 でランダムブレーキを車間距離と車両速度に応じて 3 段階に変化させ，R1 では前方の車両との適切な距離を保つように速度を調整している．この部分が TA モデルの最も特徴的な点である．R1 での考え方としては，各ドライバーは「前の車両に追い付くまでに c 秒以上の余裕をもてる」ように速度を調整している，というものである．

3.1 シミュレーションと結果

TA モデルを用いて，交通流のシミュレーションを行った結果が図 3 と図 4 である．図 3 では，自由走行流領域と渋滞流領域が再現できかつ渋滞流領域が広く分布していることが見て取れる．また時空間プロットにおいては，提案モデル 3 同様，前方車両の速度変化に応じて自分の車両の速度も変化しており，これが速度の大きな揺らぎにつながっている．速度の揺らぎが観察されていることから，synchronize flow の再現もできているといえる．

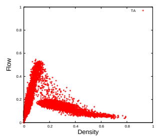

図 3: TA モデルでの基本図．

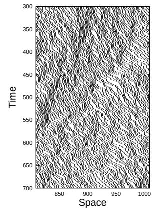

図 4: TA モデルでの車の時空間プロット．

4 おわりに

本研究では，CA 法をもとにして，ランダムブレーキ p の値を 3 段階に可変にして加速のしにくさを表現すること，前方の車との車頭時間を c 秒以上に保って運転すること，c 秒以上に保って運転するための最適速度に確率を用いて「ブレ」を入れること，というぃずれも車を運転する場合にとって自然な仮定に基づいている要素を盛り込んだ TA モデルは，交通流の基本的な性質をとらえており，VDR モデルにはない synchronized flow の再現も可能であるということがいえる．

本研究での提案モデルの評価は定性的なものであった．今後は，このモデルがどのような点についてはどれだけ優れているかということについて定量的な評価をすることが必要であると考える．

参考文献

[1] K Nagel,M Schreckenberg: A cellular automation model for freeway traffic, *J. Phys. I France* **2** (1992), pp. 2221-2229.

[2] R Barlovic, L Santen, A Schadschneider, M Schreckenberg: Metastable states in cellular automata for traffic flow, *J. Phys. B* **5** (1998), pp. 793-800.

[3] L Neubert, L Santen, A Schadschneider, M Schreckenberg: Towards a realistic microscopic description of highway traffic, *J. Phys. A: Math. Gen.* **33** (2000), pp. L477.