

隘路のある流れの交通流シミュレーション

社本, 大輔
東京大学大学院工学系研究科

友枝, 明保
東京大学大学院工学系研究科

西成, 活裕
東京大学工学研究科、科学技術振興機構さきがけ

<https://doi.org/10.15017/14295>

出版情報：応用力学研究所研究集会報告. 20ME-S7 (23), 2009-02. 九州大学応用力学研究所
バージョン：
権利関係：

応用力学研究所研究集会報告 No.20ME-S7
「非線形波動の数理と物理」(研究代表者 矢嶋 徹)
共催 九州大学グローバル COE プログラム
「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」

Reports of RIAM Symposium No.20ME-S7
Mathematics and Physics in Nonlinear Waves

Proceedings of a symposium held at Chikushi Campus, Kyushu University,
Kasuga, Fukuoka, Japan, November 6 - 8, 2008

Co-organized by
Kyushu University Global COE Program
Education and Research Hub for Mathematics - for - Industry

Article No. 23 (pp. 141-145)

隘路のある流れの 交通流シミュレーション

社本 大輔 (SHAMOTO Daisuke), 友枝 明保 (TOMOEDA
Akiyasu), 西成 活裕 (NISHINARI Katsuhiko)

(Received February 2, 2009)



Research Institute for Applied Mechanics
Kyushu University
February, 2009

隘路のある流れの交通流シミュレーション

東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻 社本大輔 (Shamoto Daisuke)
東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻 友枝明保 (Tomoeda Akiyasu)
東京大学工学系研究科航空宇宙工学専攻
(独) 科学技術振興機構さきがけ 西成活裕 (Nishinari Katsuhiro)

概要 本研究ではボトルネックのある交通流を ASEP でモデル化し、シミュレーションを行った。また近似計算により境界端の流入確率が十分大きいときには、密度プロファイルは流入確率に依らず、ボトルネックでのホップ確率の減少率にのみ依存することが分かった。

1 Introduction

近年、交通流は物理学の対象として注目され、ここ 20 年程盛んに研究されてきた。一次元交通流を表現するモデルとしてはセルオートマトンモデル [1] や最適速度モデル [2] などが有名である。これらのモデルでは交通流の特性である、自由流、渋滞流などの相転移を表現することができ、主流なモデルになっている。

また、実際の交通では交通容量を低下させるボトルネックと呼ばれる部分が存在し、代表的な例として緩やかな坂道やトンネルなどが挙げられる。緩やかな坂道ではドライバーが気づかないうちに坂道の影響で車の速度が落ちることで交通容量が低下し、またトンネルでは見晴らしのよい状態から狭く暗い状態に向かう心理的な圧迫感から速度の低下が起こることが報告されている。このようなボトルネックが道路に存在すると渋滞が発生しやすくなる。

このような背景により、ボトルネックのある交通流を研究し、解決策を模索することは社会の要求にもなっている。そこで本研究では簡単なモデルを用いてボトルネックのある流れを解析することにする。

2 実際の隘路のある交通流の特徴

実際のボトルネックのある交通流の例として、中央自動車道小仏峠を取り上げる。小仏峠付近の道路形状は長く続く上り坂の後、山の頂上でトンネルがあるという代表的なボトルネックである上り坂とトンネルを持っている。小仏峠では慢性的な交通渋滞が発生しており、週末には決まって渋滞が観測されている。図 1 に 2008 年 8 月 16 日 16 時 40 分頃の小仏峠付近の密度とキロポストの図を載せる。車の流れはキロポストの値の大きい方から小さい方へ流れている。小仏峠の渋滞の特徴としてトンネルに差し掛かる直前で最も混雑し、トンネルの内部で渋滞が緩和されている。ボトルネック部分から抜け出した後に渋滞が緩和するのではなく、ボトルネックの途中で渋滞が緩和するというのが図 1 より分かる。

3 Model

今回のシミュレーションでは開放系 ASEP を用いる。図 2 に ASEP のモデルを載せた。交通流の ASEP のモデルは、前のセルに車がいなければホップ確率 p で前のセルに移動するという非常にシンプルなものである。今回ボトルネックではホップ確率を ξp と $0 < \xi < 1.0$ なる係数を掛けてホップ確率を小さくすることでボトルネックを模擬した。

また開放系の両端の条件は流入確率を α 、流出確率を β としている。

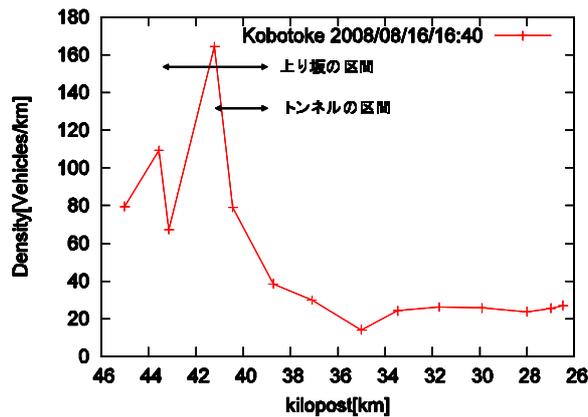


図 1: 2008 年 8 月 16 日小仏峠付近の密度対キロポスト

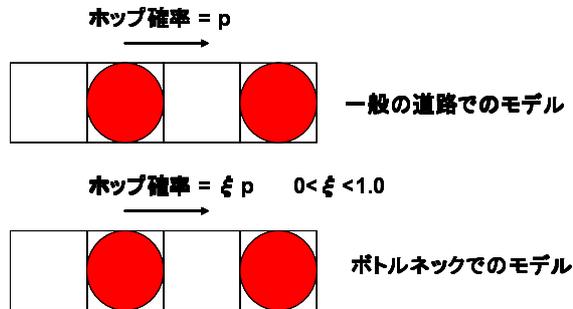


図 2: シミュレーションで用いるモデル

4 シミュレーション結果

シミュレーション結果を以下に載せる。ホップ確率 p を 0.9、流出確率 β を 0.9、ボトルネックでのホップ確率の減少率 ξ を 0.9 として、流入確率 α を変動させた。

流入確率 α が低いときには図 3 のようにボトルネックの内部で密度が上昇し、一方 α がある程度大きくなると図 4 のようにボトルネックの入り口より上流が最も高く、次いでボトルネック中、最後にボトルネック後の流れの順に密度が高くなる。流入確率によって密度が最も高くなる位置が変化するのは興味深い。現実の渋滞と比較すると、流入確率が高いときの密度プロファイルの方が現実に近い。

以降、図 3 のような場合をケース 1 とし、図 4 のような場合をケース 2 と呼ぶ。

5 近似による密度プロファイルの計算

ボトルネックが存在する交通流のモデルを図 7 のように三つの異なったホップ確率を持った ASEP が連結されていると考えることにする。まず流入確率 α が大きいケース 2 を考える。近似計算を行うために以下の仮定を置く。

1. 十分時間が経った定常状態では流量は三つのエリアで同じ。
2. α が大きくなると最もホップ確率の低いボトルネック部分の流量が最大値に達する。

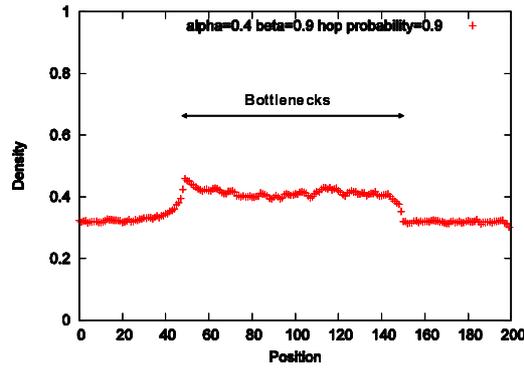


図 3: $\alpha = 0.4$ $\beta = 0.9$ $p = 0.9$ $\xi = 0.9$ のときの密度プロファイル

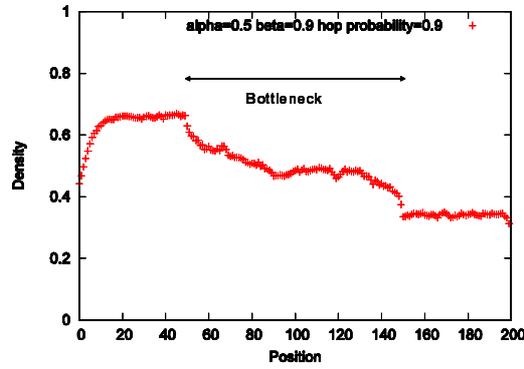


図 4: $\alpha = 0.5$ $\beta = 0.9$ $p = 0.9$ $\xi = 0.9$ のときの密度プロファイル

ASEP の先行研究 [3] によると流量が最大値に達すると、ボトルネック部の流量は

$$Q_2 = \frac{\xi p}{4} \quad (5.1)$$

となる。ただし添え字は図 7 の経路番号を意味する。また仮定より

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad (5.2)$$

である。また流入確率 α は今十分大きく $\alpha > \mu_1$ と考えられる。このとき [3] によるとバルク部分の密度は

$$\rho_1 = \frac{p + \sqrt{p^2 - 4pQ_1}}{2p} \quad (5.3)$$

と与えられるので、式 (5.1) 及び (5.2) よりボトルネックの上流の密度は

$$\rho_1 = \frac{1}{2} (1 + \sqrt{1 - \xi}) \quad (5.4)$$

と与えられる。同様に経路 3 では流出確率 β は十分に大きいので $\mu_2 < \beta$ と考えられ、このときのバルク部分の密度は

$$\rho_3 = \frac{p - \sqrt{p^2 - 4pQ_3}}{2p} \quad (5.5)$$

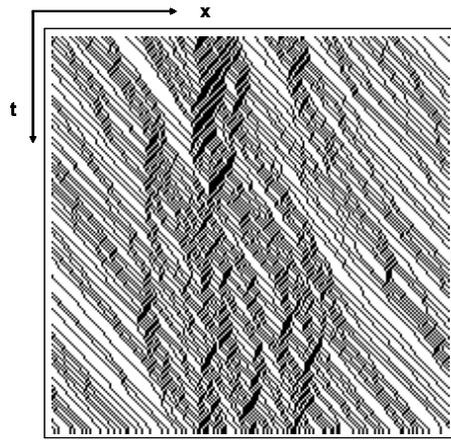


図 5: $\alpha = 0.4$ $\beta = 0.9$ $p = 0.9$ $\xi = 0.9$ のときの時空図

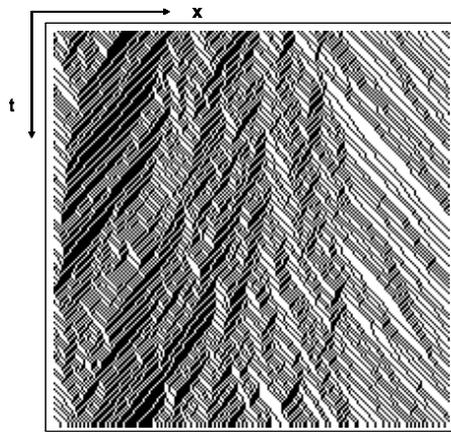


図 6: $\alpha = 0.5$ $\beta = 0.9$ $p = 0.9$ $\xi = 0.9$ のときの時空図

となり、式 (5.1)(5.2) よりボトルネックより下流の密度は

$$\rho_3 = \frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - \xi} \right) \quad (5.6)$$

と求まる。ケース 2 のような場合では、流入確率 α や流出確率 β に依らず、ボトルネックでのホップ確率の減少率 ξ のみで密度プロファイルが決定されることは興味深い。図 8 にシミュレーションと近似計算との比較したものを載せる。

6 Conclusion

今回の研究ではボトルネックのある交通流のシミュレーションを行った。ASEP をモデルとして用い、シミュレーションを行い、また近似計算によって密度プロファイルを求めた。近似計算の結果により、流入確率 α が十分大きい領域では密度プロファイルは流入確率によらず、ボトルネックでのホップ確率減少率 ξ にのみ依ることが確かめられた。

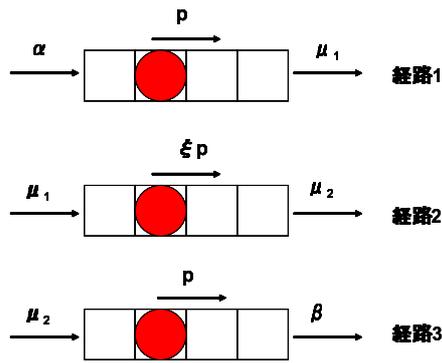


図 7: 連結された三つの ASEP

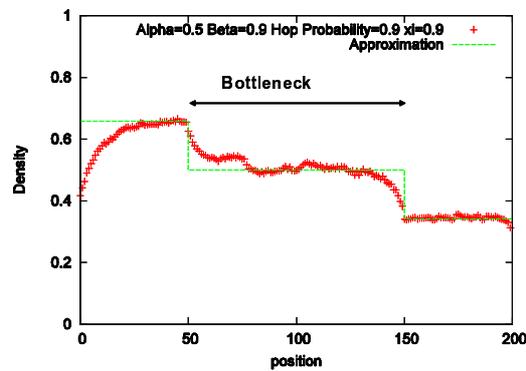


図 8: $\alpha = 0.5$ $\beta = 0.9$ $p = 0.9$ $\xi = 0.9$ のときのシミュレーションと近似計算の比較

参考文献

- [1] M.Kanai, K.Nishinari and T.Tokihiro,
PHYS.REV.E72(2005),pp.035102-1
- [2] M.Bando, K.Hasebe, A.Nakayama, A.Shibata and Y.Sugiyama,
PHYS.REV.E51(2)(1995),pp.1035
- [3] R A Blythe and M R Evans
J.Phys.A:Math.Theor.40(2007)R333-R441