

車線変更規則と流量逆転の関係

日本型・ドイツ型の比較

野田季宏¹, 日永田泰啓², 只木進一¹

¹ 佐賀大学 工学系研究科 知能情報システム学専攻

² 佐賀大学 総合情報基盤センター

概要

二車線の高速道路では、追越車線の流量が走行車線のそれを越える「流量逆転」と呼ばれる現象がよく見られる。本稿では、Nagel-Schreckenberg モデルを二車線に拡張することで、流量逆転の起源を探る。走行車線側からの追い越しを抑制するドイツ型の車線変更規則とそのような抑制の無い日本型のそれをモデル化し、シミュレーションを行う。日本型では、追越車線の速度が走行車線のそれよりも速いことが、流量逆転にとって重要であることがわかる。ドイツ型では、走行車線からの追い越し抑制が流量逆転を誘導することがわかる。

Relation between lane-changing rules and the reverse lane usage A comparison between Japanese and German types

Toshihiro Noda¹, Yasuhiro Hieida², and Shin-ichi Tadaki¹

¹ Department of Information Science, Saga University

² Computer and Network Center, Saga University

Abstract

A phenomenon called “reverse lane usage”, in which flow in the fast lane exceeds that in the slow lane, is usually observed. In this paper, we study origins of reverse lane usage using a two-lane extension of the Nagel-Schreckenberg model. We employ two types of lane-changing rules: German and Japanese types. The German type rule set contains a rule suppressing motions of overtaking slow cars on the fast lane through the slow lane. The Japanese type rule set, on the contrary, allows overtaking motions through both lanes. In the Japanese type, the phenomenon occurs only when the maximum speed in the fast lane is faster than that in the slow lane. In the German type, the rule suppressing overtaking through the slow lane is essential for the phenomenon.

1 はじめに

複数車線を有する高速道路では、追越行動によって一車線路では見られない興味深い現象が発生する。図1は日本の二車線高速道路における走行車線の流量を、総流量、つまり走行車線と追越車線の流量の和に対する比として表したものである。総流量の増

加に伴い、総流量に対する走行車線の流量が1/2を下回る、つまり追越車線の流量が走行車線の流量を上回る。この現象を「流量逆転」と呼ぶことにする。同様の現象は、ドイツの実測データにおいても報告されている [1, 2, 3, 4]。流量逆転現象をシミュレーションを通じて再現する試みが行われている。Nagelらは Nagel-Schreckenberg モデルにより、流量逆転

現象を示している [1]。Tadaki らは結合写像型最適速度モデルに、高速道路を模した非対称的な車線変更規則及び走行車線と追越車線の最高速度の差を導入することで、流量逆転を再現している [2, 3, 4]。しかし、車線変更規則は多くの要素からなり、どの要素が流量逆転の主要因であるかは明らかにされていない。

本稿では、二車線に拡張した Nagel-Schreckenberg モデルを用いて、車線変更規則と流量逆転の関係を明らかにする。特に、走行車線からの追い越しに対する実質的な規制の点で異なる、日本型とドイツ型の車線変更規則をモデル化し、その効果を検討する。比較のために、日本型とドイツ型の共通部分と異なる部分を分離する。また、車線変更規則の効果を直接的にみるために、決定論的車線変更、つまり条件を満たす場合には必ず車線変更を行うこととした。

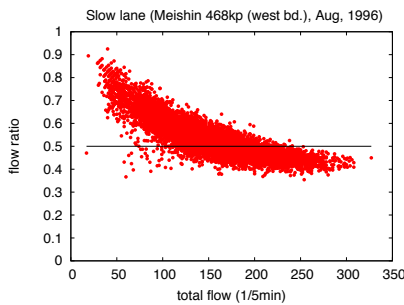


図 1: 名神高速道路、1996 年 8 月の実測データ。横軸は 5 分間の総流量、縦軸は走行車線の車線利用率である。総流量は走行車線と追越車線の和を表す。

2 Nagel-Schreckenberg モデル

Nagel-Schreckenberg(NS) モデルは、最もよく利用されている交通流セルオートマトンモデルの一つである [5]。道路はセルに分割され、一つのセルには一台の車しか入ることができない。各車は前方の空のセルの数に応じて、最高速度 v_{\max} の制限の下で加速減速を行う。以下に示す速度変更規則に従って全車の速度を決定した後、全車の位置を更新する。

n 番目の車の位置を x_n 、速度を v_n 、先行する $n+1$ 番目の車までの空のセルの数 $+1$ を $g_n = x_{n+1} - x_n$ とする。この時、以下の三つの手順で速度を更新する。全車の速度の更新の後に、車の位置を更新する。

加速: 最高速度 v_{\max} までの範囲で 1 加速する。

$$v_n = \min(v_n + 1, v_{\max}) \quad (1)$$

減速: 先行車に衝突しないように減速する。

$$v_n = \min(v_n, g_n - 1) \quad (2)$$

ランダム化: 確率 p で 1 減速する。

$$v_n = \max(v_n - 1, 0) \quad (3)$$

3 二車線の NS モデル

NS モデルに車線変更規則を追加することで、二車線路の NS モデルを構成する。各時刻において、最初に後述する車線変更を全車に対して行う。その後、前述の速度変更及び位置の更新を行う。

車線変更規則は大きく二つの要素に分けることができる。車線変更を行う必要性和、車線変更の安全性である。現在走行している車線及び隣接車線の先行車に対して、一定の距離 (視界 d) 以内に近づいた際に、車線変更を行う必要性を判断する。しかし、車線変更が必要であっても、隣接車線へ安全に移動できなければ車線変更はできない。

本研究では、走行車線側からの追い越しの規則が異なる日本とドイツの場合を比較する。日本の交通規則では、車は走行車線を走行することを基本としている (道路交通法二十条)[6]。また、追い越しを行う場合には、追越車線から行うことと定められている (道路交通法二十条第三項)。しかし、追越車線を走る低速車を、走行車線側から追い越すことを抑制するための具体的規則はない。そのため、追越車線を走行する大型車などが、走行車線側から追い越されることもしばしば発生する。ドイツの交通規則では、日本と同様に車は走行車線を走行しなければならない。一方、追越車線上の遅い車に対する (走行車線からの) 追い越しを抑制するために、追越車線に遅い車がいる場合には、走行車線を走行する車は追越車線へ移動するという規則が設けられている。二つの型の車線変更規則の効果を比較するために、共通的部分と異なる部分を整理し、車線変更規則を記述する。

日本型とドイツ型それぞれの必要性の条件を表 1 にまとめる。走行車線から追越車線への移動では、走行車線を先行する車の追い越しのための移動は共通である。ドイツ型では、追加として追越車線を走る低速車を抜かないための移動がある。追越車線から走行車線への移動では、追越車線を走り続けたいための走行車線への移動は共通である。日本型では、追越車線を走る低速車を追い越すことができる。一

表 1: 日本型とドイツ型の必要性の条件

	日本		ドイツ	
走行車線から 追越車線への車線変更	追い越し	式 (4)	追い越し または 式 (8)	
追越車線から 走行車線への車線変更	追越車線を走行し続けない または 追い越し	式 (7)	走行車線からの追い越し抑止規則 追越車線を走行し続けない かつ 式 (9)	

方、ドイツ型では、先行車が遅い場合には走行車線へ移動できない。

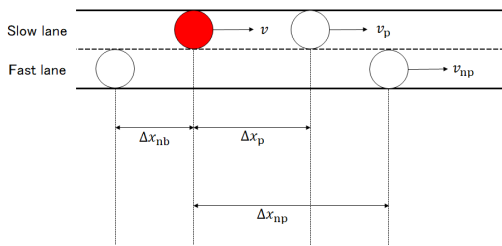


図 2: 車線変更規則の諸量。丸は車を表し、赤い丸は注目している車を表している。

図 2 は車線変更規則の諸量の説明である。注目している車の速度を v 、注目している車と同一車線の先行車との距離を Δx_p (前節の g_n と同じ)、同一車線の先行車の速度を v_p 、注目している車と隣接車線の先行車との距離を Δx_{np} 、隣接車線の先行車の速度を v_{np} 、注目している車と隣接車線で後方を走行している車との距離を Δx_{nb} とする。

車線変更規則の必要性に関する共通部分を考える。走行車線から追越車線への移動が必要となるのは、同一車線の先行車の速度が自身より遅く、かつ隣接車線の先行車が同一車線の先行車より速い場合である:

$$v_p \leq v \text{ かつ } v_p < v_{np} \quad (4)$$

一方、追越車線から走行車線への移動が必要となるのは、隣接車線の先行車が自身より速い場合である:

$$v_{np} > v \quad (5)$$

なお、先行車までの距離が視界 d より大きい場合、先行車の速度を無限大と判断する。

安全な車線変更の為に満たされるべき条件は

$$\Delta x_{np} > v \text{ かつ } \Delta x_{nb} > v_{\max}^* \quad (6)$$

である。この条件は、二つのタイプの規則で共通である。式 (6) の v_{\max}^* は隣接車線の最高速度を表す。車線毎に最高速度が異なる場合も考慮して、 v_{\max}^* は、走行車線から追越車線への移動の場合は追越車線の最高速度 v_{\max}^f 、追越車線から走行車線への移動の場合は走行車線の最高速度 v_{\max}^s となる。

周期境界条件の下で、各車線のセル数=10000 とし、異なる車の台数でシミュレーションを行った。車の初期配置はランダムとし、総流量と車線利用率を計測するまでの緩和時間=1000、視界 $d = 16$ とする。

4 日本型の二車線路モデル

日本型の車線変更規則と流量逆転の関係を調べる。日本型の車線変更規則では、前述 (表 1) のように、走行車線から追越車線へ移動するための必要性は、追い越しのみ (式 (4)) である。しかし、追越車線から走行車線への移動するための必要性は、式 (5) で表される追越車線を走り続けないという共通部分に加えて、走行車線側から追越車線を走る低速車を追い越す条件が付加される (式 (7))。

$$v_{np} > v \text{ または } (v_p \leq v \text{ かつ } v_p < v_{np}) \quad (7)$$

この車線変更規則を基に、走行車線の最高速度 v_{\max}^s を 5 とし、追越車線の最高速度 v_{\max}^f をパラメータとして変化させた。また、前節で述べた視界 d の値を変えてシミュレーションを行った。

図 3 は、日本型の車線変更規則における、総流量に対する走行車線の車線利用率の結果である。図 3 は、各車線の最高速度が等しい場合と異なる場合の比較結果である。 $v_{\max}^s = v_{\max}^f$ の場合では、流量逆転は発生しない。しかし、 $v_{\max}^s < v_{\max}^f$ の場合では、流量逆転が発生した。よって、流量逆転は車線の最高速度の差によって発生していることがわかる。

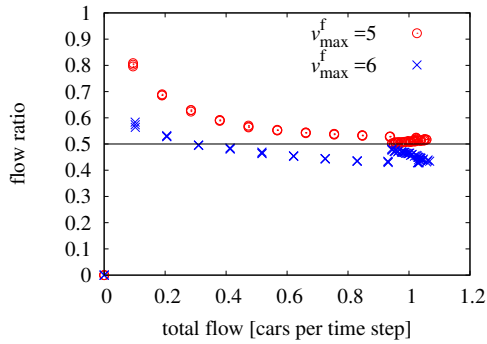


図 3: 日本型の車線変更規則における、各車線の最高速度が等しい場合と異なる場合の比較結果である。各車線の最高速度が異なる場合に流量逆転が発生した。

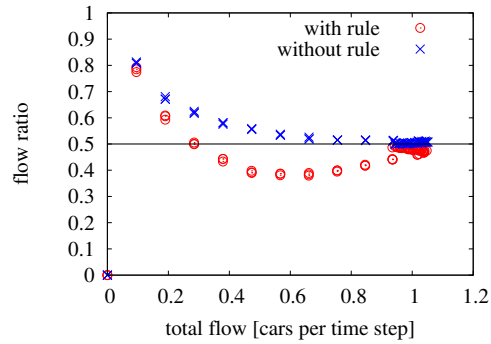


図 4: ドイツ型の車線変更規則における、走行車線からの追い越し抑制規則の適用有無の比較結果である。抑制規則がある場合は流量逆転が発生した。

5 ドイツ型の二車線路モデル

次に、ドイツ型の車線変更規則と流量逆転の関係を調べる。ドイツ型では、追越車線上の遅い車に対する(走行車線からの)追い越しを抑制する規則がある。つまり、追越車線を先行する遅い車がいる場合、走行車線を走行する車は追越車線へ移動する。このことより、走行車線に空きを作り、追越車線の低速車を安全に走行車線へ戻す。

ドイツ型の車線変更規則では、前述(表1)のように、走行車線から追越車線へ移動するための必要性は、式(4)で表される追い越しの条件に加えて、走行車線からの追い越し抑制規則が追加される:

$$(v_p \leq v \text{ かつ } v_p < v_{np}) \text{ または } v_{np} \leq v \quad (8)$$

追越車線から走行車線への移動するための必要性条件もまた、追越車線を走り続けたいという共通部分(式(5))に加えて、走行車線からの追い越し抑制規則が付加される:

$$v_{np} > v \text{ かつ } v_p > v \quad (9)$$

走行車線からの追い越し抑制規則が流量逆転に及ぼす影響を確認するため、この規則がない場合との比較を行った。走行車線の最高速度 v_{\max}^s と追越車線の最高速度 v_{\max}^f の値は、同じ値 5 に設定した。

図4は、走行車線からの追い越し抑制規則の適用有無の比較結果である。図4より、抑制規則が適用されている場合は流量逆転が発生した。そうでない場合は流量逆転が発生しなかった。よって、この規則が流量逆転に寄与していることがわかる。

6 まとめ

本稿では、Nagel-Schreckenberg モデルを用いて、日本型とドイツ型の車線変更規則を持つ二車線路の NS モデルを構成し、流量逆転に注目して結果の比較を行った。

日本型の車線変更規則の場合は、流量逆転は車線の最高速度の差によって発生していることがわかった。ドイツ型の車線変更規則の場合は、走行車線からの追い越し抑制規則が流量逆転に影響していることがわかった。車線変更の非決定性やパラメータの影響については、講演にて議論する。

参考文献

- [1] K. Nagel, D. E. Wolf, P. Wagner, and P. Simon, Phys. Rev. E58 (1998) 1425.
- [2] S. Tadaki, K. Nishinari, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa, J. Phys. Soc. Japan 71 (2002) 2326.
- [3] S.. Tadaki, K. Nishinari, M. Kikuchi, Y. Sugiyama and S. Yukawa, Physica A315 (2002) 156.
- [4] S. Tadaki *et al.* Traffic and Granular Flow '01 (Springer, 2003) 211.
- [5] K. Nagel and M. Schreckenberg, J. Phys. I France, 2 (1992) 2221.
- [6] 道路交通法 (1960年6月25日法律第百五号), <http://www.japaneselawtranslation.go.jp/law/detail/?id=2962&vm=04&re=01>
2017年11月2日確認