

自発的な交互配置化による織込部交通流の渋滞改善策

西遼佑¹, 西成活裕¹

¹ 東京大学 工学系研究科 航空宇宙工学専攻

概要

本稿では、二車線上の車を自発的に交互配置化させ、織込部交通の渋滞を改善する計画を提案する。SOV Model に、隣接車線同士の車が反発する効果を付加し、車を交互配置化する交通流モデルを作成する。シミュレーションの結果、減速効果による反発作用を加えた場合、交互配置化が誘起され、平均速度が増加し、衝突事故の危険性も下がることが分かる。

A Remedy for Jam of Weaving Sections by Spontaneous Alternative Arrangement

Ryosuke Nishi¹, Katsuhiro Nishinari¹

¹ Department of Aeronautics And Astronautics, University of Tokyo

Abstract

We propose a plan which arranges cars on two lanes alternatively and reduces traffic jams of weaving sections. We add repulsive effects to SOV model which work cars between two lanes. Simulations suggest that repulsive effects by slowing down arrange cars alternatively, increase mean speed and decrease the danger of impact accidents.

1 はじめに

首都高速道路には、例えば小菅 JCT のように、織込部が用いられている箇所がある。織込部とは、図 1 のように合流部と分岐部が接合した道路である。合流部での車線変更による速度ロスは、図 2 のような交互配置では小さく、並走配置では大きい [1]。現在の小菅 JCT では、合流前の二本の道路は視覚的に分離されているために交互合流が行われていない。そのため、合流部が一種のボトルネックとなり、渋滞の発生源になっている。

話は変わって、図 3 は、賀茂川の一場面である。岸辺のカップルは、誰に命令されるわけでもなく、ほぼ等間隔に並んで座っている。この配置は、カップルが自他の位置を調整するために実現されていると推測される。

この位置の調整効果を小菅 JCT に応用し、小菅 JCT の渋滞を改善する計画を立てる。具体例として、

小菅 JCT に図 4 のように区画線を引き、中央の二車線上の車同士が自他の位置を調整する区間を設置する方法を考える。すると、区画線を挟んだ二車線上の車は、自他の位置を調整して交互配置化し、スムーズな車線変更が実現されると予想される。この区画線計画を「賀茂川カップル作戦」(以下「カップル作戦」に略)と呼ぶことにする。

2 カップル作戦のモデル化

カップル作戦を検証するために、カップル作戦の交通流モデルを作成する。モデルは、両端開放条件、パラレルアップデートを用いたセルオートマトンモデルで構成する。

2.1 道路形状のモデル化

小菅 JCT を、ボトルネックという本質を保持したまま、図 5 のように二車線が一車線に合流する道路

として簡素にモデル化する。また、交互配置化の検証用として、図7のような直進のみの二車線モデルを用意する。それぞれ、合流モデル、合流無しモデルと名づける。 α は左端流入確率、 β は右端流出確率である。カップル作戦を行う場合、区間 d_0, d_1, d_2 のうちで、区間 d_1 のみに区画線を引く。

2.2 車の進行ルール Multi-Lanes Stochastic Optimal Velocity (MLSOV) Model

単車線交通流モデル Stochastic Optimal Velocity (SOV) Model[2] に、区画線を挟んで二車線上の車が反発する効果を付加して、車を交互配置化するモデル Multi-Lanes Stochastic Optimal Velocity (MLSOV) Model を作成する。MLSOV Model では、車 n は、時刻 t にて、確率速度 v_n^t で前進する。ここで、 v_n^t は、自車線の前方車間距離 δx_{n1}^t によって定まる単車線前進確率 v_{n1}^t と、隣接車線との前方車間距離 δx_{n2}^t によって定まる反発確率速度 v_{n2}^t との線形和である。

$$v_n^t = v_{n1}^t \pm v_{n2}^t \quad (1)$$

式1において、+ は加速反発作用、- は減速反発作用を表す。各 $v_{ni}^t (i = 1, 2)$ は、車間距離 δx_{ni}^t によって定まる理想速度 $V(\delta x_{ni}^t)$ に近づくように時間変化する。

$$v_{ni}^{t+1} = (1 - a_i)v_{ni}^t + a_i V(\delta x_{ni}^t) \quad i = 1, 2 \quad (2)$$

a_i は、ドライバーの反応パラメータである。今回は、 $V(\delta x_{ni}^t)$ を図??のように設定する。

2.3 シミュレーションでの計測値

シミュレーションで計測する指標値を定める。まず、交互配置の程度を測る指標として、degree of Gemini (Ge) を定める。Ge は区間 d_0, d_1 上の各 cell について定義される。Ge は、合流モデル (図5) 中の記号を用いて、

$$Ge = \langle (\delta x_2 + \delta x_3) / (R_2 + R_3) \rangle \quad (3)$$

のように計算する。 $\langle \rangle$ は、全シミュレーション時間に渡っての時間平均操作を意味する。 R_2, R_3 は測定範囲であり、 $\delta x_2, \delta x_3$ はそれぞれ隣接車線との前

方、後方車間距離である。 $0 \leq Ge \leq 1$ であり、1に近いほどその cell での交互配置化が実現されていることを表す。

次に、織込部で事故の起こる頻度を表す指標として、衝突危険頻度 (Collision Times, CTimes) を定める。CTimes は、合流モデル (図5) において、合流部直前で並走状態となる車のペアがどれだけの頻度で発生するのかを計測するものであり、安全上重要である。

続いて、全区間 d_0, d_1, d_2 を通過する際の平均速度 \bar{v} を定める。 \bar{v} の増加は渋滞の改善を意味する。

3 カップル作戦のシミュレーション

モデルに用いる各種パラメータを表1のように設定し、下記の三種類のルール (Rule1,2,3) を用意する。

- Rule1:二車線ともカップル作戦無し ($v_{n2}^t = 0$)
- Rule2:二車線ともカップル作戦有り、減速効果のみ ($v_n^t = v_{n1}^t - v_{n2}^t$)
- Rule3:片側車線のみカップル作戦有り、減速効果のみ ($v_n^t = v_{n1}^t - v_{n2}^t$)

まず、合流無しモデル (図7) で左端からランダムに並走して発生する条件のシミュレーションを行い、左端流入確率 $\alpha = 0.05$ における、交互配置度 Ge の空間分布を図??に出力する。次に、合流モデル (図5) で左端からランダムに並走せずに発生する条件のシミュレーションを、左端流入確率 α をパラメータ変化させて行い、平均速度 \bar{v} と α との関係を図9に、衝突危険頻度 Ctimes と α との関係を図11に出力する。続いて、合流モデル (図5) で左端流入確率 $\alpha = 0.08$ における時空図を図11に出力する。

4 考察

カップル作戦の有無による結果の差を見ると、減速効果のみのカップル作戦は、車を交互配置化するのはたらしを確かに持つことに加え、平均速度 \bar{v} 、衝突危険頻度 Ctimes を改善する効果があることが分かる。時空図 (図11) から、渋滞が改善されていることが分かる。すなわち、減速効果の反発作用を加えると、呼損系のある合流モデルの相図が変化する。

一方で、カップル作戦同士の差、すなわち Rule2 と Rule3 との差を見ると、Rule2 の方が Rule3 より

も渋滞が起こりにくく、ロバスト性が高いことが分かる。この理由は、現在考察中である。

5 結論

区画線により、織込部交通流を交互配置化する渋滞改善策「鴨川カップル作戦」を提案し、交互配置化する交通流モデルとして、Multi-Lanes SOV Model を作成した。シミュレーションの結果、減速効果のみのカップル作戦が、確かに車を交互配置化すること、及び平均速度 \bar{v} 、衝突危険頻度 C_{times} を改善することを見出した。カップル作戦は、片側車線のみではなく、二車線とも行うほうが良いことを見出した。

参考文献

- [1] 西遼佑, H18 年度東京大学工学部航空宇宙工学科卒業論文
- [2] 金井政宏、西成活裕、時弘哲治、”確率最適速度モデルと長時間寿命を持つ準安定状態について”, 日本応用数学会誌 Vol.15, No.3, 2005, pp.323 ~ 333



図 3: 加茂川の等間隔に並んだカップル



図 4: 小菅 JCT の区画線計画

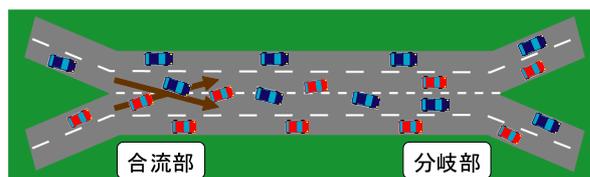


図 1: 織込部

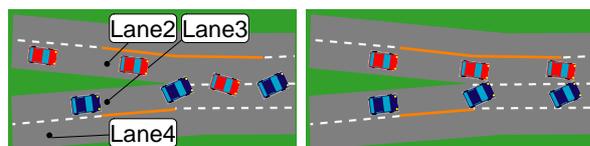


図 2: 合流部での交互配置と並走配置

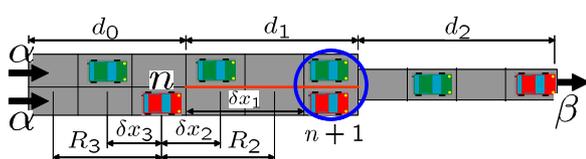


図 5: 合流モデル

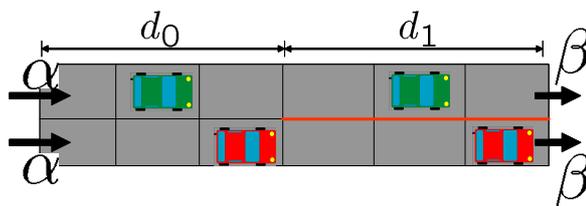


図 6: 合流無しモデル

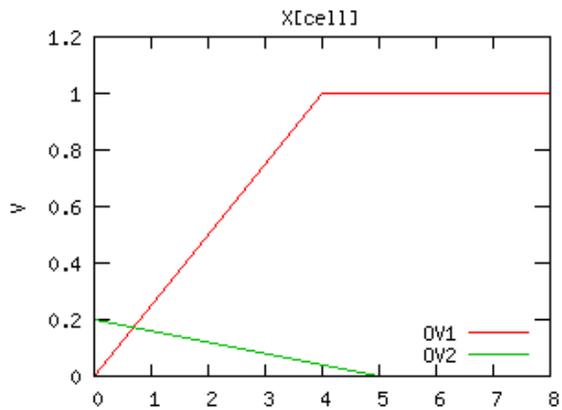


図 7: $V(\delta x_{ni}^t)$

表 1: 各種パラメータ設定値

a_1 a_2	0.05
区間 d_0	30cell
区間 d_1	20cell
区間 d_2	10cell
右端流出確率 β	1
Ge 用前方測定範囲 R_2	5cell
Ge 用後方測定範囲 R_3	5cell
総時間 step 数	100000steps
同一条件下での試行数	100times

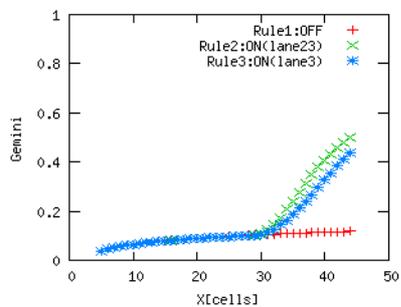


図 8: 合流無しモデル、ランダム並走発生での Ge の空間分布

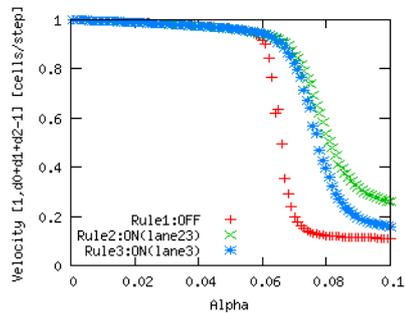


図 9: 合流モデル、ランダム発生での \bar{v} vs α

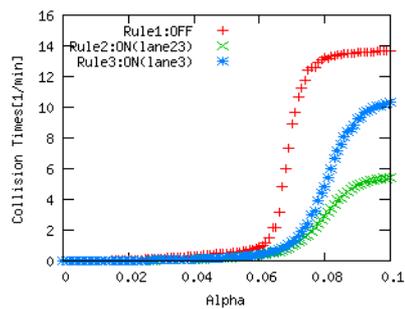


図 10: 合流モデル、ランダム発生での C_{times} vs α

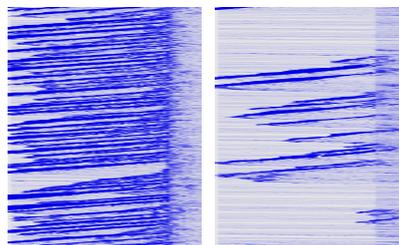


図 11: 合流モデルの時空図 Rule1(左) と Rule2(右)

ランダム流入 $\alpha = 0.08$ 、全空間について
 $t=80000\text{step}$ から 10000step 数を出力